ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ  ЭНЕРГЕТИКА

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ОБМОТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

А. С. КОКОРЕВ

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ОБМОТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ





МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1979

ББК 31.261
К59

Со всеми предложениями и замечаниями просим обращаться по адресу: *Москва, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

Кокорев А. С.

К 59 Справочник молодого обмотчика электрических машин. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1979. — 232 с., ил.
45 к.

В справочнике приведены основные сведения по обмоткам электрических машин постоянного и переменного тока, электротехническим материалам, обмоточным проводам, схемы и расчеты обмоток, которые приходится производить обмотчикам при перемотке, а также обмоточные данные наиболее распространенных электрических машин.

Справочник разработан на основе программ подготовки в профессионально-технических училищах и на производстве обмотчиков электрических машин, является дополнением к учебнику по данной специальности.

Справочник рекомендован к изданию Госкомитетом СССР по профтехобразованию и предназначен для учащихся и инженерно-педагогических работников учебных заведений профтехобразования.

К $\frac{30307-326}{052(01)-79}$ 50—79 2302030000

6П2.1.081
ББК31.261

Александр Сергеевич Кокорев

СПРАВОЧНИК
МОЛОДОГО ОБМОТЧИКА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Редактор Г. А. Сильвестрович. Художественный редактор Т. В. Панина. Технический редактор Е. И. Герасимова. Корректор Г. А. Чечеткина.

ИБ № 1829

Изд. № ЭГ—336. Сдано в набор 19.12.78. Подп. в печать 04.06.79. Т-11152. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 12,18 усл. печ. л. 12,50 уч.-изд. л. Тираж 100 000 экз. Зак. № 827. Цена 45 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электроэнергетика относится к числу отраслей, в наибольшей мере определяющих технический прогресс. Непрерывный рост производства электроэнергии — основа развития всех отраслей народного хозяйства. В 1975 г. было выработано 1038 млрд. кВт·ч электроэнергии, в 1980 г. XXV съездом КПСС намечено довести ее производство до 1340—1380 кВт·ч. Перед электротехнической промышленностью поставлена задача быстрыми темпами развивать производство электрических машин большой и малой мощности, высоковольтной и низковольтной электрической аппаратуры, электрооборудования высокой надежности для механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства и других видов прогрессивного электротехнического оборудования.

Обмотки являются наиболее ответственной частью электрической машины, определяющей надежность и долговечность изделия. Их качественное изготовление и ремонт требуют от обмотчика глубоких знаний и навыков. Внедрение последних достижений науки и техники в производство с целью повышения производительности труда и качества продукции требует соответствующего роста квалификации трудящихся.

Сведения в справочнике приведены с таким расчетом, чтобы дополнить учебник Н. В. Виноградова «Обмотчик электрических машин» фактическим материалом, необходимым молодому обмотчику при производстве и ремонте обмоток.

Справочник предполагает также использование других литературных источников (например, Н. В. Никулин. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. — М.: Высшая школа, 1976).

В пятом издании справочника приведен перевод в единицы СИ единиц других систем, учтены последние изменения стандартов на обмоточные провода, дана таблица сечений прямоугольных проводов, расширены главы, посвященные расчетам обмоток и обмоточным данным наиболее распространенных типов электрических машин, сокращены сведения по электротехническим материалам.

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. ЗНАЧЕНИЕ В ЕДИНИЦАХ СИ* ЕДИНИЦ ДРУГИХ СИСТЕМ

Таблица 1

Наименование величины	Наименование единиц	Обозначение единиц	Значение в единицах СИ
Масса	тонна центнер	т ц	10^3 кг 100 кг
Частота вращения	оборот в секунду оборот в минуту	об/с об/мин	1 $с^{-1}$ $\frac{1}{60}$ $с^{-1}$
Работа Энергия Электромагнитная энергия	киловатт-час килограмм-сила-метр ватт-час	кВт·ч кгс·м Вт·ч	$3,6 \cdot 10^6$ Дж 9,81 Дж 3600 Дж
Объемный расход	литр в секунду	л/с	10^{-3} $м^3/с$
Количество электричества, электрический заряд	ампер-час	А·ч	3600 Кл
Сила Сила тяжести (вес)	килограмм-сила грамм-сила тонна-сила	кгс гс тс	9,81 Н $9,81 \cdot 10^{-3}$ Н 9810 Н
Давление	килограмм-сила на квадратный сантиметр	$кгс/см^2$	98 100 Па
Напряжение (механическое)	килограмм-сила на квадратный миллиметр	$кгс/мм^2$	$9,81 \cdot 10^6$ Па
Мощность	килограмм-сила-метр в секунду лошадиная сила	кгс·м/с л. с.	9,81 Вт 735,5 Вт
Удельное электрическое сопротивление	ом-квадратный миллиметр на метр	$Ом \cdot мм^2/м$	10^{-6} Ом·м

* Международная система единиц.

2. НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПРИСОЕДИНЯЕМЫХ К НИМ ИСТОЧНИКОВ И ПРИЕМНИКОВ ДО 1000 В

Таблица 2

Ток	Напряжение, В, в	
	сетях и приемниках	источниках
Постоянный	12; 24; 36; 48; 60; 110; 220; 440	12; 24; 36; 48; 60; 115; 230; 460
Однофазный (50 Гц)	12; 24; 36; 42; (127); 220; 380	12; 24; 36; 42; (133); 230
Трехфазный (50 Гц)	36*; 42*; (220/127); 380/220; 660/380	36*; 42*; (230/130; 400/230; 690/400)

* Междуфазное напряжение.

Примечания: 1. Под источниками понимаются генераторы и вторичные обмотки трансформаторов и автотрансформаторов.

2. Напряжения в скобках для вновь проектируемых сетей не рекомендуются. Электрооборудование должно изготовляться для существующих сетей напряжением 127 В однофазного, 220/127 и 500 В трехфазного тока.

3. МАРКИРОВКА ВЫВОДОВ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Начала и концы обмоток электрических машин обозначают в соответствии с ГОСТ 183—74 (табл. 3—6).

Таблица 3. **Выводы обмоток машин постоянного тока**

Название обмотки	Обозначение выводов	
	Начало	Конец
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	0,1; 0,3	0,2; 0,4
Независимая обмотка возбуждения	Н1	Н2

Продолжение табл. 3

Примечания: 1. При наличии в машине нескольких обмоток одного наименования выводы их начал и концов помимо буквенных обозначений имеют цифровые обозначения 1—2, 3—4, 5—6 и т. д.

2. Концы обмоток, соединенные между собой внутри электрической машины и не выведенные наружу, не обозначают.

3. Обозначение вывода должно быть выполнено так, чтобы при вращении ротора по часовой стрелке в режиме электродвигателя ток во всех обмотках (за исключением размагничивающих обмоток на главных полюсах) проходил в направлении от начала 1 к концу 2.

Таблица 4. **Выводы обмоток трехфазных машин и обмоток возбуждения синхронных машин**

Наименование и схема соединений обмоток	Число выводов	Название выводов	Обозначения выводов	
			Начало	Конец
Обмотка статора (якоря): открытая схема	6	Первая фаза	С1	С4
		Вторая »	С2	С5
		Третья »	С3	С6
соединение звездой	3 или 4	Первая »	С1	
		Вторая »	С3	
		Третья »	С3	
		Нулевая точка	0	
соединение треугольником	3	Первый зажим	С1	
		Второй »	С2	
		Третий »	С3	
Обмотки возбуждения (индукторов) синхронных машин	2	—	И1	И2

Таблица 5. **Выводы обмоток роторов трехфазных асинхронных двигателей**

Число выводов	Название выводов	Обозначение выводов
3	Первая фаза	Р1
	Вторая »	Р2
	Третья »	Р3
4	Первая »	Р1
	Вторая »	Р2
	Третья »	Р3
	Нулевая точка	0

Примечание. Контактные кольца роторов асинхронных двигателей трехфазного и однофазного тока должны обозначаться теми же буквами, что и присоединенные к ним выводы обмотки ро-

тора; при этом кольца следует располагать в порядке указанных цифр, а кольцо Р1 должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора. Обозначение самих колец буквами необязательно.

Таблица 6. **Выводы обмоток однофазных машин**

Название обмотки	Число выводов	Обозначение выводов	
		Начало	Конец
Обмотка статора (якоря) синхронных машин	2	С1	С2
Обмотка статора асинхронных двигателей:			
главная	2	С1	С2
вспомогательная	2	В1	В2
Обмотка возбуждения (индукторов) синхронных машин	2	И1	И2

Примеры обозначения выводов для обмоток двигателя с четырьмя частотами вращения приведены ниже:

Число полюсов	*Обозначения выводов*		
4	4С1;	4С2,	4С3
6	6С1;	6С2;	6С3
8	8С1;	8С2;	8С3
12	12С1;	12С2;	12С3

В малых машинах, где буквенное обозначение выводных концов затруднено, допускается для обозначения применять разноцветные провода (табл. 7—9).

Таблица 7. **Обозначение выводов трехфазных асинхронных машин разноцветными проводами**

Схема соединения	Число выводов	Название выводов	Цвет выводов	
			Начало	Конец
Открытая	6	Первая фаза	Желтый	Желтый с черным
		Вторая »	Зеленый	Зеленый с черным
		Третья »	Красный	Красный с черным
Звездой	3 или 4	Первая фаза	Желтый	—
		Вторая »	Зеленый	—
		Третья »	Красный	—
		Нулевая точка	Черный	—

Продолжение табл. 7

Схема соединения	Число выводов	Название выводов	Цвет выводов	
			Начало	Конец
Треугольником	3	Первый зажим	Желтый	—
		Второй зажим	Зеленый	—
		Третий зажим	Красный	—

Таблица 8. **Обозначение выводов однофазных асинхронных машин разноцветными проводами**

Число выводов	Обмотка	Цвет выводов	
		Начало	Конец
4	Главная Вспомогательная	Красный Синий	Красный с черным Синий с черным
3	Главная Вспомогательная Общая точка	Красный Синий Черный	— — —

Таблица 9. **Обозначение выводов коллекторных машин постоянного и переменного тока разноцветными проводами**

Обмотка	Цвет выводов		
	Начало	Конец	Дополнительный вывод
Обмотка якоря	Белый	Белый с черным	—
Последовательная обмотка возбуждения	Красный	Красный с черным	Красный с желтым
Вторая группа катушек последовательной обмотки возбуждения *	Синий	Синий с черным	Синий с желтым
Параллельная обмотка возбуждения	Зеленый	Зеленый с черным	—
Вторая группа катушек параллельной обмотки возбуждения *	Желтый	Желтый с черным	—

* При наличии двух групп или двух отдельных катушек.

4. ПРАВИЛА ИЗОБРАЖЕНИЯ СХЕМ СОЕДИНЕНИЙ НА ЧЕРТЕЖАХ

Схемы соединений обмоток электрических машин выполняют:

при развертке обмотки на плоскость (рис. 1);

применительно к виду на обмотку с определенной стороны изделия (рис. 2, 3, 4);

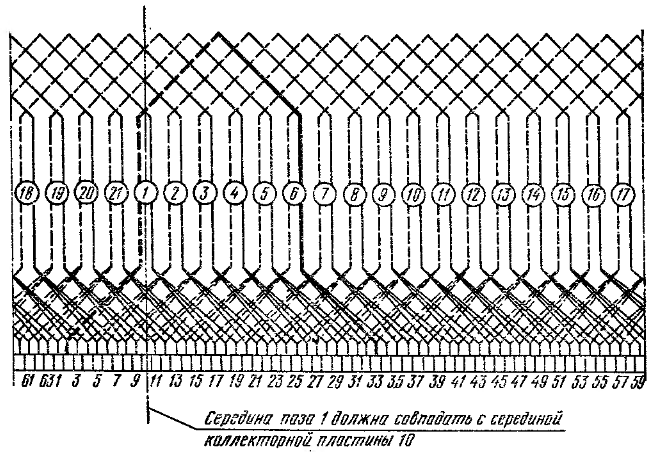


Рис. 1. Развернутая схема соединений якоря с волновой обмоткой при числе пазов $z=21$, числе полюсов $2p=4$, числе коллекторных пластин $K=63$, шаге по пазам $y_z=$ $=5$ (1—6), шаге по коллектору $y_к=31$ (1—32)

с расположением элементов обмотки, удобным для чтения схемы (рис. 5).

При развертке на плоскость:

места разреза с обеих сторон развертки обозначают штрих-пунктирной линией;

конфигурация катушки (секции) на схеме должна приближенно отображать конфигурацию реальной катушки (секции);

элемент обмотки, состоящей из нескольких проводников, изображают одной линией, а при подходе к местам соединения с другими токо-

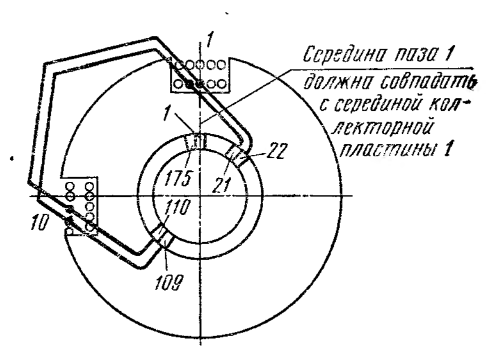


Рис. 2. Схема соединений якоря с волновой обмоткой (вид со стороны коллектора) при числе пазов $z=35$, числе коллекторных пластин $K=175$, шаге по пазам $y_z=9$(1—10), шаге по коллектору $y_к=$ $=87$(1—88)

проводящими элементами каждый проводник или группу проводников (например, секцию) показывают отдельной линией (см. рис. 1);

сторону, лежащую ближе к воздушному зазору, показывают сплошной линией, сторону, лежащую за ней (невидимую), — штриховой линией той же толщины;

номера пазов располагают в разрывах активных сторон катушек.

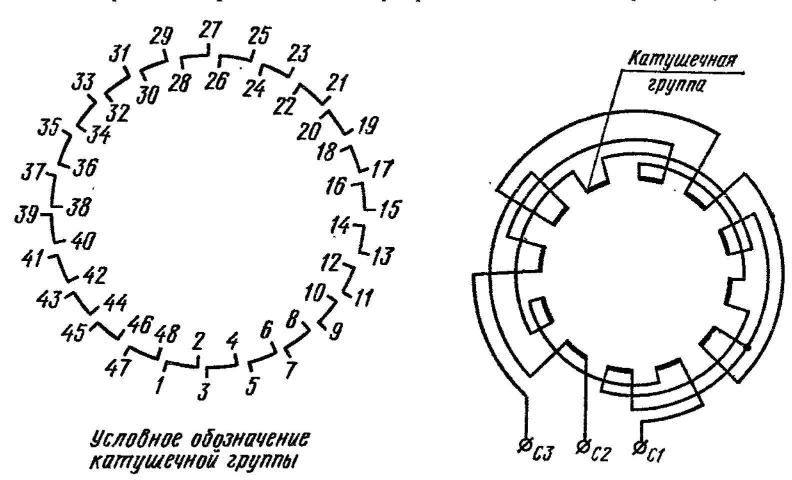


Рис. 3. Схема соединений двухслойной обмотки статора

Рис. 4. Схема соединений двухслойной обмотки статора при числе полюсов $2p=4$, числе пазов $z=24$, числе фаз $m=3$, шаге по пазам $y=6(1-7)$, числе пазов на полюс и фазу $q=2$, числе катушечных групп 12

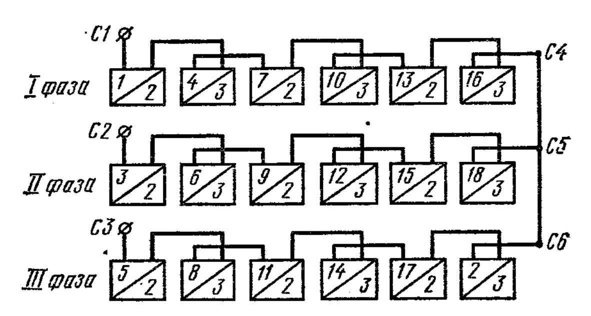


Рис. 5. Схема соединений двухслойной обмотки статора при числе полюсов $2p=6$, числе пазов $Z=45$, числе фаз $m=3$, шаге по пазам $y=5(1-6)$, числе пазов на полюс и фазу $q=2^1/_2$, числе катушечных групп 18; слева расположены выводы от катушечных сторон, лежащих на дне пазов, справа — от сторон катушек, лежащих вблизи воздушного зазора

При виде на обмотку с определенной стороны:

в случае необходимости на поле чертежа схемы помещают надпись, поясняющую, с какой стороны показан вид на обмотку;

элементы обмоток и соединения, расположенные с противоположной стороны, показывают штриховыми линиями;

для показа направления намотки полюсную катушку допускается изображать в виде витка или нескольких витков (рис. 6).

В схемах с расположением элементов обмотки, удобным для чтения (см. рис. 5), катушечные группы изображаются в виде прямоугольников.

В прямоугольниках (см. рис. 5) над диагональю указывают номер катушечной группы, под диагональю — число катушек в ней.

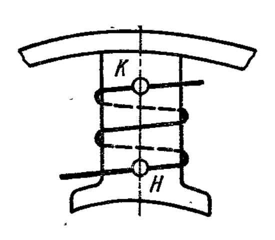


Рис. 6. Изображение полюсной катушки с указанием направления намотки

На изображаемых элементах обмотки (катушке, катушечной группе, секции, витке) и соединении в схемах в случае необходимости указывают направление тока. Если схема состоит из ряда повторяющихся элементов, можно сокращать ее графику (см. рис. 2). Элементы, принадлежащие разным обмоткам и разным фазам, допускается выполнять линиями разной толщины. Отдельные элементы могут быть выделены линиями большей толщины.

Начала и концы элементов обмоток могут быть обозначены числами или буквами: Н — начало элемента, К — конец элемента. К буквенным обозначениям в случае необходимости добавляют порядковые номера обмоток (Н1, К1, Н2, К2 и т. д.).

Полярность главных полюсов электрических машин обозначают буквами N (северный полюс) и S (южный полюс), полярность добавочных полюсов — соответственно буквами n и s.

Пазы или отдельные стороны катушек (секций) при отсутствии пазов на схеме могут быть пронумерованы.

Необходимые данные для выполнения обмотки могут быть помещены в таблице.

5. ДОПУСТИМЫЕ НАГРЕВЫ ОБМОТОК

Изоляционные материалы по нагревостойкости подразделяются на семь классов (табл. 10).

Номинальные данные электрических машин относятся к их работе на высоте до 1000 м над уровнем моря и температуре газообразной охлаждающей среды 40° С. Предельно допускаемые превышения температуры * обмоток над температурой охлаждающей среды при этих условиях должны соответствовать табл. 11. При работе машины в условиях, отличающихся от указанных, номинальные данные должны быть изменены.

---

* Превышением температуры называется разность между температурой окружающей среды и температурой тела.

Таблица 10. Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости

Обозначение класса нагревостойкости	Температура, характеризующая данный класс нагревостойкости, °С	Основные группы электроизоляционных материалов
Y	90	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал
A	105	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального, искусственного и синтетического шелка, в рабочем состоянии пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал
E	120	Синтетические органические материалы (пленки, волокна, смолы, компаунды и т. д.) и другие материалы, для которых установлено, что они могут работать при температуре до 120° С
B	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, соответствующие данному классу нагревостойкости
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры
C	Свыше 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц и другие материалы

Примечания: 1. Указанные в таблице температуры являются предельно допустимыми для электроизоляционных материалов при их длительном использовании в электрических машинах и аппаратах, работающих в нормальных эксплуатационных условиях.

2. Температура в наиболее нагретом месте изоляции не должна превышать указанных величин при работе электрооборудования в нормальном режиме.

3. Вместе с электроизоляционными материалами данного класса разрешается применять материалы предшествующих классов при условии, что под действием температуры, допустимой для материалов более высокого класса, электрические и механические свойства комплексной изоляции не претерпевают изменений, приводящих к непригодности изоляции для длительной работы.

Таблица 11. **Допустимые превышения температур обмоток в электрических машинах, определяемые методом сопротивлений**

Обмотка	Превышение температуры, °C, при классе изоляции				
	A	*E*	*B*	*F*	*H*
Обмотка переменного тока машин мощностью 5000 кВ·А и выше или с длиной сердечника 1 м и более	60	70	80	100	125
Обмотка переменного тока машин мощностью менее 5000 кВ·А или с длиной сердечника менее 1 м	60	75	80	100	125
Обмотка возбуждения машин постоянного и переменного тока с возбуждением постоянным током, а также якорная обмотка, соединенная с коллектором	60	75	80	100	125
Обмотка возбуждения неявнополюсных машин с возбуждением постоянным током	—	—	90	110	135
Однорядная обмотка возбуждения с оголенными поверхностями	65	80	90	110	135
Обмотка возбуждения малого сопротивления, имеющая несколько слоев, и компенсационная обмотка	60	75	80	100	125

Превышение температуры медной обмотки θ, °C, над температурой охлаждающего воздуха, определяемое по методу сопротивлений, подсчитывается по формуле

$$\Theta = t_г - t_0 = \frac{r_г - r_х}{r_х} \cdot (235 + t_х) + t_х - t_о,$$

где $t_г$ и $t_х$ — температура обмотки в горячем и холодном состояниях °C; $r_г$ и $r_х$ — сопротивления обмотки в горячем и холодном состояниях, Ом; $t_о$ — температура охлаждающего воздуха, °C.

Если обмотка нзготовлена из алюминия, то в формуле число 235 следует заменить цифрой 245.

6. ВЕЛИЧИНА НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОДА ПРИ НАМОТКЕ КАТУШЕК

Сила натяжения провода при намотке не должна превосходить той величины, при которой появляется его заметное остаточное удлинение. Предельно допустимое натяжение для медного провода $P_{пр}$ (Н) зависит от диаметра его без изоляции d, мм: $P_{пр} = 84d^2$.

Величина натяжения провода при намотке определяет плотность и размеры обмотки, а также ее омическое сопротивление. Излишнее натяжение приводит или к обрывам провода, илн к значительному остаточному удлинению, при котором уменьшается сечение, увелнчивается сопротивление н повреждается изоляция, что влечет за собой витковые замыкания. Так, например, намотка провода Ø 1 мм с натяжением 140 Н может привести к увелнчению сопротивления приблизительно на 4%. Недостаточное натяжение не обеспечивает нужной плотности обмоткн и увелнчивает ее габариты.

7. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства основных проводниковых матерналов приведены в табл 12.

Измеренное при температуре t значенне сопротивления обмоткн (медной и алюминневой) можно привести к расчетным температурам 15 или 20° С путем умножения его на соответствующий коэффицнент (табл. 13).

Таблнца 12. **Свойства проводниковых материалов**

Материал	Плотность, г/см^3	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяженни, 10^{-6}Па	Удельное электрическое сопротивление при 20° С, Ом·мм^2/м	Температурный коэффициент электрического сопротивления α, град$^{-1}$
Алюминий	2,7	657	80—250	0,028	0,0040
Бронза	8,3—8,9	885—1050	310—1350	0,021—0,052	0,0040
Вольфрам	19,3	3380	1000—3000	0,055	0,0046
Железо	7,8	1535	—	0,098	0,0060
Латунь	8,4—8,7	900—960	300—700	0,031—0,079	0,0020
Молибден	10,2	2620	800—2500	0,057	0,0046
Медь	8,9	1083	270—450	0,0178	0,0040
Никель	8,9	1455	400—700	0,073	0,0065
Олово	7,3	232	20—50	0,12	0,0044
Сталь	7,8	1400—1530	450—1500	0,1—0,2	0,0050

Таблнца 13. **Коэффициенты приведения сопротивлений k_{15} (для приведения к 15° С) и k_{20} (для приведения к 20° С)**

t, °С	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
k_{15}	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88
k_{20}	1,08	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90

Примечание. Температурный коэффнциент сопротивления α приият равным 0,004 1/°С.

8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ОБМОТОЧНЫХ РАБОТ

Полуавтомат для изолировки пазов статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56...63 мм

Технические данные: диаметр расточки статора 48 ... 65 мм; длина сердечника статора 56 ... 75 мм; число пазов 24, 36; ширина изоляционного материала 62 ... 80 мм; число слоев изоляции 1; производительность 120 статоров/ч; установленная мощность 0,6 кВт; габариты 880×750×1330 мм; масса 540 кг.

Станок ИПС-8 для изолировки пазов статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 100 мм

Предназначен для изготовлеиня нзоляционных коробочек и укладывания их в пазы статоров. Коробочки изготовляются из рулонного изоляциониого материала в однн или два несклеенных слоя с манжетами или без них. За один цикл станок последовательно укладывают в пазы статора комплект коробочек. После изолировкн всех пазов станок автоматически выключается.

Станок снабжен счетчиком числа изолированных статоров и может подключаться к системе автоматического управления производством (АСУП). Станок обслуживает один рабочий.

Техническне данные: диаметр расточки статора 60 ... 120 мм; длина сердечника статора 60 ... 160 мм; число пазов 24, 36; скорость изолирования 80 ... 150 пазов/мнн; габарнты 1150×1100×1660 мм; масса 1500 кг.

Станки НГ-4 и НГ-5 для намотки статорных катушек электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 100 мм (НГ-4) и 112 ... 132 мм (НГ-5)

Станки имеют один горизонтальный шпиндель, на который надевается намоточный шаблон. Отсчет витков и переброс провода от одной катушки к другой осуществляется автоматически. Между катушками надеваются изоляционные трубки. На шпинделе стаика НГ-4 установлеиы два намоточных шаблона, иа которые одновременно наматываются две фазы обмотки двумя проводоводителями.

Технические данные: частота вращення 300, 600, 900 об/мин (для НГ-4) и 120, 180, 400, 600 (для НГ-5); диаметр провода (по меди) 0,4 ... 0,5 мм (для НГ-4) и 0,8 ... 1,6 мм (для НГ-5); максимальиое число витков 200 (для НГ-4) и 99 (для НГ-5); максимальное число параллельных проводииков 3; габариты 1275×760×1500 мм (для НГ-4) и 1600×1600×1200 мм (для НГ-5), масса не более 950 кг.

Станок НК-6 для намотки катушечных групп статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 112 ... 132 мм

Намотка провода на вращающийся шаблон, закрепленный на планшайбе станка, производится раскладчиком в однн ряд. Все операции (намотка, отрезка, пересыпание катушек на переносной съемник, закрепление провода для намотки следующей катушечной группы, поворот съемиика и т. д.) выполняются автоматически. После намотки и пересыпания комплекта катушек на съемник оператор вручную поворачивает манипулятор и передает съемник к станку ОСР-3 для механнзированной всыпки обмотки.

Техиические данные: частота вращеиия до 1000 об/мин; диаметр провода (по меди) 0,9 ... 1,62 мм; шаг раскладки провода до 4,5 мм;

максимальное число витков в катушке 99; максимальное число параллельных проводников 2; габариты 3000×1400×1600 мм; масса 2350 кг.

Станок ОСР-3 для укладки, заклинивания и формования обмоток статоров электродвигателей с высотой оси вращения 112 ... 132 мм

Предварительно намотанные катушечные группы подаются специальным приспособлением на станок и укладываются на оправку, куда затем устанавливается статор, закрепленный на подвижной каретке. На станке производится всыпание катушечных групп и заклинивание обмотки в пазах. Подвижная каретка переводит статор на формовочную оправку, где обмотка обжимается. Для всыпания второго яруса катушек цикл повторяется.

Станок может работать в полуавтоматическом и наладочном режимах. Обслуживается одним оператором.

Технические данные: время перемещения толкателя обмотки — 6 с; время зарядки кассеты пазовыми клиньями 36 с; время перемещения статора с позиции формования на позицию всыпания 9 с; усилие всыпания обмоток 60 000 Н; усилие формования лобовых частей 10 000 Н; установленная мощность 4 кВт; габариты 1510×3200×1475 мм.

Станки ОС-20 и ОС-21 для укладки обмотки статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 80 мм (ОС-20) и 112 мм (ОС-21)

На станке наматываются проводом непосредственно в пазы одновременно три катушечные группы. Станки могут работать в автоматическом и наладочном режимах.

Технические данные (для ОС-20): скорость намотки 300 ... 350 двойных ходов; пределы регулирования скорости намотки 90 ... 450 двойных ходов; укладываемая обмотка — однослойная концентрическая; диаметр провода (по меди) 0,35 ... 1,0 мм; диаметр расточки статора 50 ... 100 мм; ход проводоводителя 200 ... 450 мм; установленная мощность 4,8 кВт; габариты 2200×1250×2000 мм.

Полуавтомат для укладки обмотки статоров четырехполюсных электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56 ... 63 мм

Технические данные: наружный диаметр сердечника 89, 100 мм; длина сердечника 47, 56, 65 мм; внутренний диаметр сердечника 55, 61 мм; число пазов 24; паз полуоткрытый; производительность 15 статоров/ч; установленная мощность 7,32 кВт; габариты (без электрошкафа) 1180×1410×1470 мм; масса 2000 кг.

Станок для заклинивания обмотки в пазах статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56 ... 63 мм

В автоматическом режиме на станке выполняются: подача изоляционного материала, резка заготовки клина, формование крышек и подача их в пазы статора.

Технические данные: скорость заклинивания 80 пазов/мин; установленная мощность 0,8 кВт; габариты 1310×955×1385 мм, масса 400 кг.

Полуавтомат для бандажировки лобовых частей обмоток статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56 ... 63 мм

Бандажирование выполняется синтетической ниткой ∅ 0,8 ... 1,2 мм однониточным цепным краеобмоточным стежком с помощью радиусной иглы и поворотного петлителя. Бандаж накладывается одновременно с двух сторон статора. Станок предназначен для работы самостоятельно, а также в поточных линиях.

Технические данные: наружный диаметр статора 89, 100 мм; длина сердечника статора 56, 65, 75 мм; производительность — 55 стежков/мин; установленная мощность 1,5 кВт; габариты 1470×920×1310 мм; масса 1250 кг.

Станки ФС-9 и ФС-10 для формования лобовых частей обмоток статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 100 мм (ФС-9) и 71 ... 132 мм (ФС-10)

Формующие головки станка снабжены конусообразными оправками, торцовыми плитами и перемещающимися в радиальном направлении сменными башмаками.

Технические данные: привод — гидравлический (для ФС-9); электрогидравлический (для ФС-10); габариты не более 1400×870×1300 мм; масса не более 1500 кг.

Установка УС для газовой сварки междукатушечных соединений и выводов электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56 ... 63 мм

Установка состоит из стола, на котором расположена тележка для перемещения статора, газовой горелки и системы газопитания. Стол присоединяется болтами к транспортной системе линии обмотки статоров. Горелка работает на смеси пропан-бутана или природного газа с кислородом. Свариваемые провода вводят в пламя горелки вручную. Зачистка эмалевых проводов исключается.

Технические данные: производительность 500 соединений/ч; расход пропан-бутана 125 л/ч; расход кислорода 135 л/ч; тип горелки «малютка»; габариты 1100×400×1230 мм; масса 80 кг.

Установка АКО-25 для электрических испытаний в автоматическом режиме обмоток статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 100 мм

Испытания статоров производятся после бандажирования, до пропитки. Установка состоит из испытательного стола с поворотной восьмипозиционной планшайбой и шкафа управления.

Оператор устанавливает статор на позицию загрузки испытательного стола и заправляет выводные концы обмоток в подключающее устройство. Контролю и испытанию подвергаются: электрическая прочность изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами, правильность маркировки выводов, междувитковая изоляция и омическое сопротивление обмотки. Забракованный статор маркируется по виду брака и дальнейшим испытаниям не подвергается. Установку обслуживает один оператор.

Технические данные: производительность 100 статоров/ч; напряжение 380 В; частота 50 Гц; установленная мощность 3 кВ·А; габариты шкафа с аппаратурой 800×600×1850 мм; габариты поворотного стола 1500×1600×1600; масса 2000 кг.

Установка ПС-15 для пропитки и токовой сушки обмоток статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56 ... 90 мм

Установка относится к роторному типу с двухъярусным расположением статоров. Пропитка производится методом заполнения обмоток сверху полиэфирным лаком КП-18 в процессе их нагрева и вращения статоров, установленных в наклонном положении, вокруг своей оси. Термообработка ведется путем нагрева обмоток токами повышенной частоты. Пропитка и термообработка выполняются одновременно.

Технические данные: производительность 90 ... 120 статоров/ч; такт установки 60 ... 78 с; установленная мощность 28 кВ·А (для

двигателей с высотой оси вращения 56, 63 мм), 103 кВ·А (для двигателей с высотой оси вращения 71, 80, 90 мм); габариты 6400×3400×2700 мм; масса 500 кг.

Установка для пропитки и сушки якорей электродвигателей ДКО-16-5

Пропитка предварительно нагретых якорей осуществляется капельным методом компаундом КП-18, сушка — путем пропускания через обмотку тока промышлеиной частоты.

Технические данные: расход компауида 5 г/якорь; количество одновременно пропитываемых якорей 15; полный цикл работы установки 6,5 мин; производнтельность 105 якорей/ч; установленная мощность 0,4 кВт; габарнты 1200×590×1330 мм; масса 1100 кг.

Автомат АПЗ для резки и зачистки выводных проводов электрических машин

Предназначен для мерной резки и снятня изоляции с обоих концов провода ПРГ. Станок состоит из размотчика, передней и задней бабок, механизма отсчета длины, резки н подрезки изоляции, смонтироваиных на стальиой станине.

Провод нз бухты, размещенной на вращающемся столе, пропускается через рихтовочные ролики, ролики счетиого механизма и заправляется в подающие ролики передней бабки, которые направляют его к механизму резки, а затем — в подающие ролики задней бабки. После отсчета нужной длииы механизм резки отрезает провод и одновременно подрезает изоляцию на его коицах. Подающие ролики задней бабки тянут отрезанный провод, снимая изоляцию с одного конца. Затем ролики задней бабки реверсируются, протягивая провод в обратную сторону и снимая изоляцию с другого конца.

Технические даниые: производительность 800 проводов/ч; привод электрический; установленная мощность 0,4 кВт; габариты 1725×650×1385 мм; масса 250 кг.

Установка для скрутки и резки проводов междукатушечных соединений обмоток статоров электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 100 мм

На столе установки расположены поворотное приспособлеиие и механизм скручивания. Статор располагается горизонтальио на поворотном приспособлении, коицы проводов вручиую заправляют в механизм скручивания.

Технические данные: максимальиый днаметр пучка скрученных проводов 3 мм; частота вращения 300 об/мин; мощиость электродвигателя 50 Вт; габариты 1100×400×900 мм; масса 80 кг.

Станок УСПЗ-1 для оконцевания выводных проводов электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 71 ... 132 мм кабельными наконечниками методом обжатия

В автоматическом режиме выполняется подача кабельных наконечников в виде ленты в зону обжатия, соединение с одновремеиной маркировкой наконечника, отделение наконечннка от ленты, удалеиие готового изделия из рабочей зоны и подача следующего накоиечника в рабочую зону. Провод в рабочую зоиу подается вручиую.

Технические данные: время обжатия не более 1,5 с; максимальное усилие обжатия 10^5 Н; сечение проводов 0,75 ... 6,0 мм^2; ход пуансона 1 ... 20 мм; расстояиие между пуансоиом н матрицей 1 ... 65 мм; макснмальный шаг подачи ленты 37 мм; максимальиое давлеиие воздуха $4 \cdot 10^5$ Па; габариты 1380×500×1092 мм; масса не более 500 кг.

Таблица 14. **Полуавтоматы для бандажировки роторов (якорей) стеклолентой**

Параметры	БР-1	БР-2	БР-3
Диаметр ротора, мм	80...250	200... 650	500...1 200
Максимальное натяжение стеклоленты, Н	2000	2000	2000
Подача каретки, мм/об, ротора	6,12,24	3,6,12	3,6,12
Частота вращения, об/мин	42,65,130, 200	10,14,21, 74,97,150	10,14,20, 35,47,70
Ускоренное перемещение каретки, мм/с	80	60	100
Установленная мощность, кВт	3,4	4,0	9,0
Габариты, мм	2290×950× ×1275	3330×1030× ×1380	5550×2000× ×1600
Масса, кг	1750	2250	7800

9. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АППАРАТА ЕЛ-1 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБМОТОК

Напряжение питания, В	118—127, 205—220
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, Вт	80
Габариты, мм	170×250×330
Масса, кг	9,5

10. РАСЧЕТ БАНДАЖЕЙ ИЗ ПРОВОЛОКИ И СТЕКЛОЛЕНТЫ

Стальная бандажная луженая проволока в зависимости от магнитных свойств изготовляется двух классов: Н — немагнитная, М — с обычными для углеродистой стали магнитными свойствами.

Диаметры бандажной проволоки: 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0 мм (табл. 15). Диаметры немагнитной проволоки: 1,0—3,0.

Таблица 15. **Выбор бандажной проволоки в зависимости от диаметра ротора**

Диаметр ротора, мм	Диаметр проволоки, мм	Натяжение проволоки, Н
100—200	0,8	300—400
201—400	1,0	500—600
401—600	1,2	650—800
601—1000	1,5	1000—1200
Свыше 1000	2,0	1800—2000

При отсутствии нужного диаметра проволоки старое число витков $w_{ст}$ бандажа должно быть изменено

$$w_{нов} = kw_{ст},$$

где $k = (d_{ст}/d_{нов})^2$, по табл. 16.

Таблица 16. **Коэффициент пересчета количества витков k**

$d_{ст}$, мм	k при $d_{нов}$, мм							
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5
0,6	1,00	0,56	0,36	—	—	—	—	—
0,8	1,78	1,00	0,64	0,44	0,28	—	—	—
1,0	2,78	1,56	1,00	0,70	0,44	0,39	—	—
1,2	4,00	2,25	1,44	1,00	0,64	0,55	0,36	—
1,5	6,26	3,51	2,25	1,56	1,00	0,88	0,56	0,36
1,6	—	4,00	2,56	1,78	1,14	1,00	0,64	0,41
2,0	—	6,25	4,00	2,78	1,78	1,56	1,00	0,64
2,5	—	—	6,25	4,34	2,78	2,44	1,56	1,00

Расчет бандажа при неизвестных числе витков и диаметре проволоки производят отдельно для лобовой и пазовой частей.

Масса лобовой части обмотки и изоляции (кг) с одной стороны ротора

$$M_л = 0,012Dabn\frac{z}{p},$$

где D — диаметр ротора, см; a и b — размеры сечения обмоточного провода, см; n — число проводников в пазу; z — число пазов; p — число пар полюсов.

Таблица 17. **Напряжение в стальном бандаже от его собственных центробежных сил**

D, мм	σ_2, 10^{-6}, Па, при $n_р$, об/мин				
	720	900	1200	1800	2200
315	1	2	3	7	10
400	2	3	5	11	17
500	3	5	8	18	26
630	5	7	13	28	42
800	7	11	20	46	—
1000	12	18	32	—	—

Число витков бандажа из стальной проволоки на лобовой части

$$w_л = 1,13\cdot10^7\frac{M_л(D-h_п)}{d^2(\sigma_{доп}-\sigma_2)}\left(\frac{n_р}{1000}\right)^2,$$

где $h_п$ — глубина паза, см; d — диаметр бандажной проволоки, мм; $\sigma_{доп}=300\cdot10^6$ Па — допустимое напряжение для стальной бандажной проволоки; σ_2 — напряжение в бандаже от его собственных

центробежных сил, Па (табл. 17); при небольших диаметрах и частотах вращения можно принимать $\sigma_2=0$; $n_р=1,2\,n_{макс}$ — расчетная частота вращения, об/мин (для двигателей с последовательным возбуждением переменного и постоянного тока расчетная частота должна быть не менее чем на 50% больше номинальной); $n_{макс}$ — наибольшая частота, об/мин, указанная в табличке двигателя.

Масса (кг) обмотки и изоляции, находящихся в пазах,

$$M_п = 0{,}012abnzl,$$

где l — длина сердечника ротора, см.

Число витков всех бандажей, намотанных на пазовые части,

$$w_п = w_л \frac{M_п}{M_л}.$$

Пример. Рассчитать бандажи из стальной проволоки для двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.

Данные для расчета: $a=1{,}81$ мм, $b=6{,}9$ мм, $D=295$ мм, $l=140$ мм, $h_н=36$ мм, $n=16$, $z=33$, $2p=4$, $n_{макс}=1800$ об/мин, $n_{ном}=1500$ об/мин.

$$M_л = 0{,}012\cdot 29{,}5\cdot 0{,}181\cdot 0{,}69\cdot 16\cdot \frac{33}{2} = 11{,}7 \text{ кг}.$$

$$w_л = 1{,}13\cdot 10^7 \frac{11{,}7\,(29{,}5-3{,}6)}{1^2\,(300\cdot 10^6 - 10\cdot 10^6)}\left(\frac{2250}{1000}\right)^2 \approx 60.$$

$$n_р = 1{,}2\cdot 1800 = 2160 \text{ об/мин}.$$

$$1{,}5n_{ном} = 1{,}5\cdot 1500 = 2250 \text{ об/мин}.$$

Принимаем $n_р = 2250$ об/мин, $d = 1$ мм (см. табл. 15).

$$M_п = 0{,}012\cdot 0{,}181\cdot 0{,}69\cdot 16\cdot 33\cdot 14 = 11{,}1 \text{ кг}.$$

$$w_п = 60\frac{11{,}1}{11{,}7} = 57.$$

Если расчетное число витков не размещается по длине лобовой части, то бандаж наматывают в несколько слоев. Число витков берут в каждом последующем слое на 2—4 меньше, чем в предыдущем, чтобы крайние витки не сползали. Между слоями прокладывают слой асбестового картона для снижения потерь от вихревых токов. Для более равномерного распределения напряжений между слоями каждый последующий слой наматывают с натяжением проволоки на 10% меньшим, чем предыдущий.

Наружный диаметр бандажа должен быть меньше внутреннего диаметра статора. Разность диаметров для обеспечения безопасного ввода ротора в статор должна быть не менее:

D, мм	Разность, мм
100—200	2,0
201—400	2,5
401—1000	3—4

Число витков бандажа из стеклоленты марок ЛСБ-F и ЛСБ-В

$$w_c = 0,9 \cdot 10^7 \frac{M(D - h_п)}{S\sigma_{доп.с}} \left(\frac{n_р}{1000}\right)^2,$$

где S — сечение бандажной ленты, мм²; M — масса с изоляцией той части обмотки, для которой рассчитываем бандаж, кг; $\sigma_{доп.с} = 150 \times 10^6$ Па — допустимое напряжение для стеклоленты.

В расчетное число витков не входят витки, которые накладываются с неполным натягом для закрепления начала бандажа и выравнивания поверхности лобовых частей.

При замене проволочного бандажа бандажом из ленты число витков может быть определено по формуле

$$w_c = k_c w,$$

где k_c — по табл. 18; w — число витков проволочного бандажа.

Таблица 18. **Значения коэффициента k_c при толщине ленты 0,2 мм**

Ширина ленты, мм	k_c при d, мм							
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0
10	0,20	0,28	0,50	0,78	1,13	1,77	2,01	3,14
15	0,13	0,19	0,33	0,52	0,75	1,18	1,34	2,10
20	0,10	0,14	0,25	0,39	0,56	0,88	1,00	1,57
25	0,08	0,11	0,20	0,31	0,45	0,71	0,80	1,26

Примечание. Значения k_c рассчитаны из условия $\sigma_{доп} = 2\sigma_{доп\ с}$.

Стеклобандажи из ленты толщиной 0,2 мм накладывают с натяжением:

Ширина ленты, мм	Натяжение, Н
10	750—800
15	800—1000
20	1000—1300
25	1500—1800

11. БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

В таблицах и формулах справочника приняты следующие буквенные обозначения:

P — номинальная мощность машины,

U — номинальное напряжение, машины *,
$U_ф$ — напряжение фазы трехфазной обмотки,
I — номинальный ток *,
$I_ф$ — фазный ток трехфазной обмотки,
z_1 — число пазов статора асинхронного двигателя,
z_2 — число пазов ротора асинхронного двигателя,
$2p$ — число полюсов,
m — число фаз,
y — шаг обмотки по пазам,
n — полное число проводников в пазу,
q — число пазов на полюс и фазу,
a — число параллельных ветвей машины переменного тока,
$2a$ — число параллельных ветвей обмотки якоря машины постоянного тока,
d — диаметр круглого провода без изоляции,
D — диаметр круглого провода с изоляцией,
a, b — размеры сечения прямоугольного провода без изоляции,
r — сопротивление обмотки (фазы при трехфазной обмотке) при 15° С,
M — масса провода обмотки,
$l_{ср}$ — средняя длина витка,
$D_а$ — наружный диаметр сердечника статора,
D_i — внутренний диаметр сердечника статора,
l_1 — длина сердечника статора** (радиальные вентиляционные каналы отсутствуют),
$h_п$ — полная глубина паза,
δ — воздушный зазор,
F — площадь паза,
$F' = F - (F_{из} + F_{кл})$ — свободная площадь паза, где $F_{из}$ — площадь, занимаемая изоляцией (пазовой коробочкой и прокладками), $F_{кл}$ — площадь поперечного сечения клина,
N — число эффективных проводников в пазу,
$n_{эл}$ — число элементарных (параллельных) проводников,
$n = n_{эл}N$ — полное число проводников в пазу.

---

* Для трехфазных машин — линейные значения, т. е. напряжение между подводящими проводами и ток в проводе сети.

** В справочнике рассматриваются электрические машины мощностью до 100 кВт, сердечники которых выполняются, как правило, без радиальных вентиляционных каналов.

II. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА*

12. МАРКИ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Характеристики обмоточных проводов приведены в табл. 19—21.

Таблица 19. **Провода с эмалевой изоляцией**

Марка	Изоляция провода	Нагревостойкость, °С	Диаметр (размеры) без изоляции, мм
ПЭЛ	Эмаль на масляно-смоляной основе	105	0,02—2,44
ПЭВ-1	Высокопрочная эмаль на поливинилацеталевой основе	105	0,02—2,44
ПЭВ-2	То же, но с увелнченной толщиной	105	0,06—2,44
ПЭМ-1	Высокопрочная эмаль на поливннилформалевой основе	105	0,05—2,50
ПЭМ-2	То же, но с увеличенной толщиной	105	0,05—2,50
ПЭЛР-1	Высокопрочная эмаль на полиамиднорезольной основе	105	0,1—2,44
ПЭЛР-2	То же, но с увеличенной толщиной	105	0,1—2,44
ПЭВП	Высокопрочная эмаль «винифлекс», провод прямоугольный**	105	a=0,5—2,83 b=2,1—8,8
ПЭВТЛ-1	Высокопрочная эмаль на полнуретановой основе	120	0,05—1,56
ПЭВТЛ-2	То же, но с увеличенной толщиной	120	0,05—1,56
ПЭТВ-943, ПЭТВ-939, ПЭТВ-ТС	Высокопрочная эмаль на полиэфирной основе (лак П-943)	130	0,06—2,44
ПЭТВ-*F*	То же	155	0,06—2,44
ПЭТВП	То же, провод прямоугольный	130	a=0,80—3,55 b=2,00—12,5
ПЭТ-155	Высокопрочная эмаль на полиэфироимндной основе	155	0,06—2,50
ПНЭТ-имнд	Высокопрочная эмаль на полиимидной основе, жила никелированная	200	0,1—1,3
ПЭВАт***	Высокопрочная эмаль «винифлекс», жила из твердой (неотожженной) алюминиевой проволоки	105	0,08—0,59
ПЭВА***	То же, но из отожженной проволокн	105	0,51—2,44
ПЭТВА***	Полиэфирный лак	130	0,14—0,20
ПЭТА***	Нагревостойкий полиимндный лак	220	0,08—2,44

* См.: Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническнм материалам и изделиям. — М.: Высшая школа, 1976.

** a и b — стороны сечения прямоугольного провода.

*** С алюминиевой жилой.

Таблица 20. **Провода с волокнистой и стекловолокнистой изоляцией**

Марка	Изоляция провода	Нагревостойкость, °С	Размеры без изоляции, мм, провода	
			d круглого	прямоугольного
ПБД	Два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,38—5,2	a=0,9—5,5 b=2,1—15
ПЛД	Два слоя обмотки из лавсанового волокна	120	0,38—1,3	—
ПЛБД	Один слой обмотки из лавсанового волокна и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,38—5,2	a=0,9—5,5 b=2,1—14,5
ПШД	Два слоя обмотки из натурального шелка	105	—	a=0,8—1,35 b=3,53—4,7
АПБД*	Два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	1,35—8	a=1,81—7 b=4,1—18
АПЛБД*	Один слой обмотки из лавсанового волокна и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	1,35—8	a=1,81—7 b=4,1—18
ПСД, ПСД-Л**	Два слоя обмотки из стекловолокна с пропиткой каждого слоя нагревостойким лаком	155	0,31—5,2	a=0,9—5 b=2,1—12,5
ПСДТ, ПСДТ-Л**	Два слоя обмотки из утоненного стекловолокна с пропиткой каждого слоя нагревостойким лаком	155	0,31—2,1	—
ПСДК, ПСДК-Л**	Два слоя обмотки из стекловолокна с пропиткой каждого слоя кремнийорганическим лаком	180	0,31—5,2	—
ПСДКТ, ПСДКТ-Л**	Два слоя обмотки из утоненного стекловолокна с пропиткой каждого слоя кремнийорганическим лаком	180	0,31—2,1	a=0,9—3,55 b=2,1—10
ПЭТКСОТ	Слой кремнийорганической эмали и обмотка из утоненного стекловолокна с пропиткой кремнийорганическим лаком	180	0,33—1,56	a=0,83—1,45 b=2,1—4,7
ПНЭТКСОТ	Слой полиимидной эмали и обмотка из утоненного стекловолокна с пропиткой кремнийорганическим лаком, жила никелированная	220	0,20 и 0,31	—

* С алюминиевой жилой.
** С дополнительной лакировкой поверхности провода.

Таблица 21. **Провода с эмалево-волокнистой изоляцией**

Марка	Изоляция провода	Нагревостойкость, °С	Диаметр без изоляции, мм
ПЭЛБО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,38—2,1
ПЭЛБД	То же, но два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,93—2,1
ПЭВБД	Эмаль «винифлекс» и два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,69; 0,93—2,1
ПЭЛШО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из натурального шелка	105	0,05—1,56
ПЭЛШКО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из капроновых нитей	105	0,1—1,56
ПЭЛШКД	То же, но два слоя обмотки из капроновых нитей	105	0,72—1,45
ПЭВШО	Эмаль «винифлекс» и один слой обмотки из натурального шелка	105	0,2—1,5
ПЭЛЛО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из лавсановых нитей	105	0,05—1,3
ПЭВЛО	Эмаль «винифлекс» или «металвин» и один слой обмотки из лавсанового волокна	105	0,06—1,3
ПЭТЛО	Эмаль повышенной нагревостойкости и один слой обмотки из лавсанового волокна	130	0,2—1,3

13. РАЗМЕРЫ КРУГЛОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Таблица 22

Обозначения: *d* — диаметр; *S* — сечение

d, мм	*S*, мм²	*d*, мм	*S*, мм²	*d*, мм	*S*, мм²
0,02	0,000314	0,355	0,0990	1,04	0,849
0,03	0,000707	0,38	0,113	1,06	0,882
0,04	0,00126	0,40	0,126	1,08	0,916
0,05	0,00196	0,41	0,132	1,12	0,985
0,06	0,00283	0,44	0,152	1,16	1,06
0,063	0,00312	0,45	0,159	1,18	1,09
0,07	0,00385	0,47	0,173	1,20	1,13
0,071	0,00396	0,49	0,189	1,25	1,23
0,08	0,00503	0,50	0,196	1,30	1,33
0,09	0,00636	0,51	0,204	1,32	1,37
0,10	0,00785	0,53	0,221	1,35	1,43
0,11	0,0095	0,55	0,238	1,40	1,54
0,112	0,00985	0,56	0,246	1,45	1,65
0,12	0,0113	0,57	0,255	1,50	1,77
0,125	0,0123	0,59	0,273	1,56	1,91
0,13	0,0133	0,62	0,302	1,60	2,01
0,14	0,0154	0,63	0,312	1,62	2,06
0,15	0,0177	0,64	0,322	1,68	2,22
0,16	0,0201	0,67	0,353	1,70	2,27
0,17	0,0227	0,69	0,374	1,74	2,38
0,18	0,0254	0,71	0,396	1,80	2,54
0,19	0,0284	0,72	0,407	1,81	2,57
0,20	0,0314	0,74	0,430	1,88	2,78
0,21	0,0346	0,75	0,442	1,90	2,84
0,224	0,0394	0,77	0,466	1,95	2,99
0,23	0,0415	0,80	0,503	2,00	3,14
0,25	0,0491	0,83	0,541	2,02	3,20
0,27	0,0573	0,85	0,567	2,10	3,46
0,28	0,0616	0,86	0,581	2,12	3,53
0,29	0,0661	0,90	0,636	2,24	3,94
0,31	0,0755	0,93	0,679	2,26	4,01
0,315	0,0779	0,95	0,709	2,36	4,37
0,33	0,0855	0,96	0,724	2,44	4,68
0,35	0,0962	1,00	0,785	2,50	4,91

14. РАЗМЕРЫ МЕДНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Таблица 23

Размер b, мм	Расчетное сечение, мм², при размере по стороне a, мм											
	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,50
2,00	1,46	1,54	1,63	1,71	1,78	1,90	2,02	2,14	2,28	2,42	2,58	—
2,12	1,56	—	1,73	—	1,90	—	2,16	—	2,44	—	2,75	—
2,24	1,66	1,75	1,84	1,93	2,02	2,16	2,29	2,43	2,58	2,74	2,92	3,14
2,36	1,75	—	1,95	—	2,14	—	2,43	—	2,74	—	3,09	—
2,50	1,86	1,97	2,08	2,18	2,28	2,44	2,58	2,74	2,91	3,08	3,28	3,54
2,65	1,98	—	2,21	—	2,44	—	2,75	—	3,10	—	3,50	—
2,80	2,10	2,22	2,35	2,47	2,58	2,75	2,92	3,09	3,28	3,48	3,70	3,98
3,00	2,26	—	2,53	—	2,78	—	3,14	—	3,54	—	3,98	—
3,15	2,38	2,52	2,66	2,80	2,94	3,12	3,31	3,50	3,72	3,94	4,20	4,51
3,35	2,54	—	2,84	—	3,14	—	3,54	—	3,97	—	4,48	—
3,55	2,70	2,86	3,02	3,18	3,34	3,55	3,76	3,97	4,22	4,47	4,76	5,11
3,75	2,86	—	3,20	—	3,54	—	3,98	—	4,47	—	5,04	—
4,00	3,06	3,24	3,43	3,61	3,78	4,02	4,26	4,50	4,78	5,06	5,38	5,78
4,25	3,26	—	3,65	—	4,04	—	4,54	—	5,10	—	5,74	—
4,50	3,46	3,67	3,88	4,08	4,28	4,56	4,82	5,10	5,41	5,72	6,08	6,54
4,75	3,66	—	4,10	—	4,54	—	5,10	—	5,72	—	6,44	—
5,00	3,86	4,10	4,33	4,56	4,78	5,08	5,38	5,68	6,04	6,38	6,78	7,28
5,30	4,10	—	4,60	—	5,08	—	5,72	—	6,41	—	7,20	—
5,60	4,34	4,60	4,87	5,13	5,38	5,72	6,06	6,39	6,78	7,18	7,62	8,18
6,00	4,66	—	5,23	—	5,78	—	6,50	—	7,28	—	8,18	—
6,30	4,90	5,20	5,50	5,79	6,08	6,46	6,84	7,22	7,66	8,10	8,60	9,24
6,70	—	—	5,86	—	6,48	—	7,29	—	8,16	—	9,16	—

7,10	—	—	6,22	6,55	6,88	7,31	7,74	8,16	8,66	9,16	9,72	10,40
7,50	—	—	—	—	7,28	—	8,18	—	9,16	—	10,30	—
8,00	—	—	—	—	7,78	8,26	8,74	9,22	9,78	10,40	11,00	11,80
8,50	—	—	—	—	—	—	9,30	—	10,40	—	11,70	—
9,00	—	—	—	—	—	—	9,86	10,40	11,00	11,70	12,40	13,30
9,50	—	—	—	—	—	—	—	—	11,70	—	13,10	—
10,00	—	—	—	—	—	—	—	—	12,30	13,00	13,80	14,80

Продолжение табл. 23

Размеры b, мм	Расчетное сечение, мм², при размере a, мм										
	1,60	1,70	1,80	1,90	2,0	2,12	2,24	2,36	2,50	2,65	2,80
2,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,24	3,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,36	3,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,50	3,78	3,89	4,14	—	—	—	—	—	—	—	—
2,65	4,02	—	4,41	—	—	—	—	—	—	—	—
2,80	4,26	4,40	4,68	4,96	5,24	—	—	—	—	—	—
3,00	4,58	—	5,04	—	5,64	—	—	—	—	—	—
3,15	4,82	4,99	5,31	5,62	5,94	6,32	6,69	—	—	—	—
3,35	5,14	—	5,67	—	6,34	—	7,14	—	—	—	—
3,55	5,46	5,67	6,03	6,38	6,74	7,16	7,59	7,83	8,33	—	—
3,75	5,78	—	6,39	—	7,14	—	8,04	—	8,83	—	—
4,00	6,18	6,44	6,84	7,24	7,64	8,12	8,60	8,89	9,45	10,00	10,70
4,25	6,58	—	7,29	—	8,14	—	9,16	—	10,10	—	11,40
4,50	6,98	7,29	7,74	8,19	8,64	9,18	9,72	10,10	10,70	11,40	12,00
4,75	7,38	—	8,19	—	9,14	—	10,30	—	11,30	—	12,80

Продолжение табл. 23

Размер b, мм	Расчетное сечение, мм², при размере a, мм										
	1,60	1,70	1,80	1,90	2,0	2,12	2,24	2,36	2,50	2,65	2,80
5,00	7,78	8,14	8,64	9,14	9,64	10,2	10,80	11,2	12,00	12,7	13,4
5,30	8,26	—	9,18	—	10,20	—	11,50	—	12,70	—	14,3
5,60	8,74	9,16	9,72	10,30	10,80	11,5	12,20	12,7	13,40	14,3	15,1
6,00	9,38	—	10,4	—	11,60	—	13,10	—	14,40	—	16,2
6,30	9,86	10,4	11,0	11,6	12,2	13,0	13,8	14,3	15,2	16,2	17,1
6,70	10,5	—	11,7	—	13,0	—	14,6	—	16,2	—	18,2
7,10	11,2	11,7	12,4	13,1	13,8	14,7	15,5	16,2	17,2	18,3	19,3
7,50	11,8	—	13,1	—	14,6	—	16,4	—	18,2	—	20,4
8,00	12,6	13,2	14,0	14,8	15,6	16,6	17,6	18,3	19,4	20,6	21,8
8,50	13,4	—	14,9	—	16,6	—	18,7	—	20,7	—	23,2
9,00	14,2	14,9	15,8	16,7	17,6	18,7	19,8	20,7	22,0	23,3	24,6
9,50	15,0	—	16,7	—	18,6	—	20,9	—	23,2	—	26,0
10,0	15,8	16,6	17,6	18,6	19,6	20,8	22,0	23,0	24,4	26,0	27,4
10,6	16,8	—	18,7	—	20,8	—	23,4	—	26,0	—	29,1
11,2	11,7	18,7	19,8	20,9	22,0	23,4	24,7	25,9	27,4	29,1	30,8
11,8	18,7	—	20,9	—	23,2	—	26,1	—	29,0	—	32,5
12,5	19,8	20,9	22,1	23,4	24,6	26,1	27,6	29,0	30,7	32,6	—
13,2	—	—	23,4	—	26,0	—	29,2	—	32,4	—	36,4
14,0	—	—	24,8	26,2	27,6	29,3	31,0	32,5	34,4	36,6	38,6
15,0	—	—	—	—	29,6	—	33,2	—	37,0	—	41,4

Размер b, мм	Расчетное сечение, мм², при размере a, мм											
	3,00	3,15	3,35	3,55	3,75	4,0	4,25	4,50	4,75	5,0	5,3	5,6
5,00	14,4	15,2	16,2	17,2	—	—	—	—	—	—	—	—
5,30	—	16,1	—	18,3	—	—	—	—	—	—	—	—
5,60	16,20	17,1	18,2	19,3	20,1	21,5	—	—	—	—	—	—
6,00	—	18,4	—	20,8	—	23,1	—	—	—	—	—	—
6,30	18,40	19,3	20,6	21,8	22,8	24,3	25,9	27,5	—	—	—	—
6,70	—	20,6	—	23,2	—	25,9	—	29,3	—	—	—	—
7,10	20,80	21,8	23,2	24,7	25,8	27,5	29,3	31,1	32,9	34,6	—	—
7,50	—	23,1	—	26,1	—	29,1	—	32,9	—	36,6	—	—
8,00	23,40	24,6	26,2	27,8	29,1	31,1	33,1	35,1	37,1	39,2	41,5	43,9
8,50	—	26,2	—	29,6	—	33,1	—	37,4	—	41,6	—	46,7
9,00	26,40	27,8	29,6	31,4	32,9	35,1	37,4	39,6	41,9	44,1	46,8	49,5
9,50	—	29,4	—	33,2	—	37,1	—	41,9	—	46,6	—	52,3
10,0	29,40	31,0	33,0	35,0	36,6	39,1	41,6	44,1	46,6	49,1	52,1	55,1
10,6	—	32,8	—	37,1	—	41,5	—	46,8	—	52,1	—	58,5
11,2	33,00	34,7	37,0	39,2	41,1	43,9	46,7	49,5	52,3	55,1	58,5	61,9
11,8	—	36,6	—	41,3	—	46,3	—	52,2	—	58,1	—	65,2
12,50	37,00	38,8	41,3	43,8	46,0	49,1	52,3	55,4	58,5	61,6	65,4	69,1
13,20	—	41,0	—	46,3	—	51,9	—	58,5	—	65,1	—	73,1
14,00	41,40	43,6	46,4	49,2	52,0	55,1	58,6	62,1	65,6	69,1	73,3	77,5
15,00	—	46,7	—	52,7	—	59,1	—	66,6	—	74,1	—	83,1

Примечания: 1. Медиая проволока изготовляется с размерами $a=0{,}8\div12{,}5$ мм, $b=2{,}00\div35{,}0$ мм.

2. Кроме проволоки для электротехнических целей изготовляют медные ленты с размерами $a=0{,}1\div3{,}53$ мм, $b=8\div100$ мм и шины с размерами $a=4\div30$ мм и $b=16\div120$ мм.

3. Медные провода с бумажной изоляцией изготовляют с размерами b до 19,5 мм.

15. РАЗМЕРЫ ИЗОЛИРОВАННЫХ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Максимальные диаметры проводов с эмалевой изоляцией приведены в табл. 24—25.

Таблица 24. **Диаметры проводов ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭВ-2, ПЭТВ*, ПЭВТЛ-1, ПЭВТЛ-2, ПЭВА, ПЭВАт**

Диаметр проволоки, мм	Максимильный диаметр провода, мм			
	ПЭЛ	ПЭВ-1, ПЭВТЛ-1	ПЭВ-2, ПЭТВ, ПЭВТЛ-2	ПЭВА, ПЭВАт
0,020	0,035	0,035	—	—
0,025	0,040	0,040	—	—
0,030	0,045	0,045	—	—
0,040	0,055	0,055	—	—
0,050	0,065	0,070	0,08	—
0,060	0,075	0,085	0,09	—
0,070	0,085	0,095	0,10	—
0,080	0,095	0,105	0,11	0,105
0,090	0,105	0,115	0,12	0,115
0,100	0,120	0,125	0,13	0,125
0,110	0,130	0,135	0,14	0,135
0,120	0,140	0,145	0,15	0,145
0,130	0,150	0,155	0,16	0,155
0,140	0,160	0,165	0,17	0,165
0,150	0,170	0,180	0,19	0,180
0,160	0,180	0,190	0,20	0,190
0,170	0,190	0,200	0,21	0,200
0,180	0,200	0,210	0,22	0,210
0,190	0,210	0,220	0,23	0,220
0,200	0,225	0,230	0,24	0,230
0,21	0,235	0,24	0,25	0,24
0,23	0,255	0,27	0,28	0,27
0,25	0,275	0,29	0,30	0,29
0,27	0,31	0,31	0,32	0,31
0,29	0,33	0,33	0,34	0,33
0,31	0,35	0,35	0,36	0,35
0,33	0,37	0,37	0,38	0,37
0,35	0,39	0,39	0,41	0,39
0,38	0,42	0,42	0,44	0,43
0,41	0,45	0,45	0,47	0,46
0,44	0,49	0,48	0,50	0,49
0,47	0,52	0,51	0,53	0,52
0,49	0,54	0,53	0,55	0,54
0,51	0,56	0,56	0,58	0,57
0,53	0,58	0,58	0,60	0,59
0,55	0,60	0,60	0,62	0,61

* Марки ПЭТВ-943, ПЭТВ-939, ПЭТВ-ТС, ПЭТВ-F.

Диаметр проволоки мм	Максимальный диаметр провода, мм			
	ПЭЛ	ПЭВ-1, ПЭВТЛ-1	ПЭВ-2, ПЭТВ, ПЭВТЛ-2	ПЭВА ПЭВАт
0,570	0,620	0,620	0,64	0,630
0,590	0,640	0,640	0,66	0,650
0,620	0,670	0,670	0,69	0,670
0,640	0,690	0,690	0,72	0,700
0,670	0,720	0,720	0,75	0,730
0,690	0,740	0,740	0,77	0,750
0,720	0,780	0,770	0,80	0,780
0,740	0,800	0,800	0,83	0,810
0,770	0,830	0,830	0,86	0,840
0,800	0,860	0,860	0,89	0,870
0,830	0,890	0,890	0,92	0,900
0,860	0,920	0,920	0,95	0,930
0,900	0,960	0,960	0,99	0,970
0,930	0,990	0,990	1,02	1,000
0,960	1,020	1,020	1,05	1,030
1,000	1,070	1,080	1,11	1,090
1,040	1,120	1,120	1,15	1,130
1,080	1,160	1,160	1,19	1,170
1,120	1,200	1,200	1,23	1,210
1,160	1,240	1,240	1,27	1,250
1,200	1,280	1,280	1,31	1,290
1,250	1,330	1,330	1,36	1,340
1,300	1,380	1,380	1,41	1,390
1,350	1,430	1,430	1,46	1,440
1,400	1,480	1,480	1,51	1,490
1,450	1,530	1,530	1,56	1,540
1,500	1,580	1,580	1,61	1,590
1,56	1,64	1,64	1,67	1,65
1,62	1,71	1,70	1,73	1,72
1,68	1,77	1,76	1,79	1,78
1,74	1,83	1,82	1,85	1,84
1,81	1,90	1,90	1,93	1,92
1,88	1,97	1,97	2,00	1,99
1,95	2,04	2,04	2,07	2,06
2,02	2,12	2,11	2,14	2,13
2,10	2,20	2,20	2,23	2,21
2,26	2,36	2,36	2,39	2,37
2,44	2,54	2,54	2,57	2,55

Примечание. Изготовляемые диаметры проводов (см. табл. 19).

Таблица 25. **Диаметры проводов ПЭМ-1, ПЭМ-2, ПЭТ-155**

Диаметр проволоки, мм	Максимильный диаметр провода, мм			Диаметр проволоки, мм	Максимальный диаметр провода, мм		
	ПЭМ-1	ПЭМ-2	ПЭТ-155		ПЭМ-1	ПЭМ-2	ПЭТ-155
0,050	0,070	0,080	—	0,560	0,610	0,630	0,63
0,060	0,085*	0,090*	0,90	0,570	0,620*	0,640*	0,64*
0,063	0,088	0,093	—	0,590	0,640*	0,660*	0,66*
0,070	0,095*	0,100*	0,10	0,620	0,670*	0,690*	0,70*
0,071	0,095	0,101	—	0,630	0,680	0,700	0,71
0,080	0,105	0,110	0,11	0,640	0,690*	0,720*	0,72*
0,090	0,115	0,120	0,12	0,670	0,720*	0,750*	0,75*
0,100	0,125	0,130	0,13	0,690	0,740*	0,770*	0,77*
0,110	0,135*	0,140*	0,14*	0,710	0,760	0,790	0,79
0,112	0,137	0,142	0,14	0,720	0,770*	0,800*	0,80*
0,120	0,145*	0,150*	0,15	0,740	0,800*	0,830*	0,82*
0,125	0,150	0,155	—	0,750	0,810	0,840	0,83
0,130	0,155*	0,160*	0,16*	0,770	0,830*	0,860*	0,85*
0,140	0,165	0,170	0,17	0,800	0,860	0,890	0,89
0,150	0,180*	0,190*	0,19*	0,830	0,890*	0,920*	0,92*
0,160	0,190	0,200	0,20	0,850	0,910	0,940	0,94
0,170	0,200	0,210*	0,21*	0,860	0,920*	0,950*	0,95*
0,180	0,210	0,220	0,22	0,900	0,960	0,990	0,99
0,190	0,220*	0,230*	0,23*	0,930	0,990*	1,020*	1,02*
0,200	0,230	0,240	0,24	0,950	1,010	1,040	1,04
0,210	0,240*	0,250*	0,26*	0,960	1,020*	1,050*	1,05*
0,224	0,254	0,264	0,27	1,000	1,080	1,110	1,09
0,230	0,270*	0,280*	0,28*	1,040	1,120	1,150	1,14*
0,250	0,290	0,300	0,30	1,060	1,140	1,170	1,16
0,270	0,310*	0,320*	0,32*	1,080	1,160*	1,190*	1,18*
0,280	0,320	0,330	0,33	1,120	1,200	1,230	1,22
0,290	0,330*	0,340*	0,34*	1,160	1,240*	1,270*	1,26*
0,310	0,350*	0,360*	0,36	1,180	1,260	1,290	1,28
0,315	0,355	0,365	—	1,200	1,280*	1,310*	1,30*
0,330	0,370*	0,380*	0,38*	1,250	1,330	1,360	1,35
0,350	0,390*	0,410*	0,40	1,300	1,380*	1,410*	1,40*
0,355	0,395	0,415	—	1,320	1,400	1,430	1,42
0,380	0,420*	0,440*	0,44*	1,350	1,430*	1,460*	1,45*
0,400	0,440	0,460	0,46	1,400	1,480	1,510	1,51
0,410	0,450*	0,470*	0,47*	1,450	1,530*	1,560*	1,56*
0,440	0,480*	0,500*	0,51*	1,500	1,580	1,610	1,61
0,450	0,490	0,510	0,52	1,560	1,640*	1,670*	1,67*
0,470	0,510*	0,530*	0,54*	1,600	1,680	1,710	1,71
0,490	0,530*	0,550*	0,56*	1,620	1,700*	1,730*	1,73*
0,500	0,550	0,570	0,57	1,680	1,760*	1,790*	1,79*
0,510	0,560*	0,580*	0,58*	1,700	1,780	1,810	1,81
0,530	0,580*	0,600*	0,60*	1,740	1,820*	1,850*	1,85*
0,550	0,600*	0,620*	0,62*	1,800	1,890	1,910	1,92

Диаметр проволоки, мм	Максимальный диаметр провода, мм			Диаметр проволоки, мм	Максимльный диаметр провода, мм		
	ПЭМ-1	ПЭМ-2	ПЭТ-155		ПЭМ-1	ПЭМ-2	ПЭТ-155
1,810	1,900*	1,930*	1,93*	2,120	2,220	2,250	2,24
1,880	1,970*	2,000*	2,00*	2,240	2,340	2,370	2,37
1,900	1,990	2,020	2,02	2,260	2,350*	2,390*	2,39*
1,950	2,040*	2,070*	2,07*	2,360	2,460	2,490	2,49
2,000	2,090	2,120	2,12	2,440	2,540*	2,570*	2,57*
2,020	2,110*	2,140*	2,14*	2,500	2,600	2,630	2,63
2,100	2,200*	2,230*	2,22*				

* В новых разработках применять не разрешается.

Толщина изоляции круглых проводов приведена в табл. 26 и 27.

Таблица 26. **Толщина изоляции круглых проводов со стекловолокнистой изоляцией**

Диаметр проволоки, мм	Диаметральная (двусторонняя) толщина изоляции, мм, марок					
	ПСД, ПСДК	ПСД-Л, ПСДК-Л	ПСДТ	ПСДТ-Л	ПСДКТ	ПСДКТ-Л
0,31—0,49	0,23	0,25	0,18	0,20	0,14	0,16
0,51—0,69	0,25	0,27	0,19	0,21	0,16	0,18
0,72—0,96	0,25	0,27	0,20	0,22	0,16	0,18
1,00—1,56	0,27	0,29	0,21	0,23	0,18	0,20
1,62—1,74	0,27	0,29	0,21	0,25	0,22	0,24
1,81—2,10	0,27	0,29	0,23	0,25	0,22	0,24
2,26—5,20	0,33	0,35	—	—	—	—

Таблица 27. **Толщина изоляции круглых проводов с эмалево-волокнистой и волокнистой изоляцией**

Диаметр проволоки, мм	Диаметральная (двусторонняя) толщина изоляции, мм, марок				
	ПЭЛШО, ПЭЛЛО*	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПБД	АПБД
0,05	0,08	—	—	—	—
0,06—0,14	0,08	0,09	—	—	—
0,15—0,19	0,08	0,10	—	—	—
0,20—0,21	0,09	0,11	—	—	—
0,23—0,25	0,09	0,12	—	—	—
0,27—0,33	0,11	0,12	—	—	—
0,35	0,11	0,13	—	—	—

Диаметр проволоки, мм	Диаметральная (двусторонняя) толщина изоляции, мм, марок				
	ПЭЛШО, ПЭЛЛО*	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПБД	АПБД
0,38—0,41	0,11	0,13	0,17	0,22	—
0,44—0,49	0,12	0,13	0,17	0,22	—
0,51—0,62	0,12	0,14	0,17	0,22	—
0,64—0,69	0,12	0,15	0,17	0,22	—
0,72—0,96	0,13	0,15	0,18	0,22	—
1,00—1,30	0,14	0,17	0,21	0,27	—
1,35—1,45	0,14	—	0,21	0,27	0,27
1,50—1,56	0,16	—	0,21	0,27	0,27
1,62—2,10	—	—	0,22	0,27	0,27
2,26—5,20	—	—	—	0,33	0,33
6,00—8,00	—	—	—	—	0,35

* Изготовляются с диаметрами проволоки 0,05—1,30 мм.

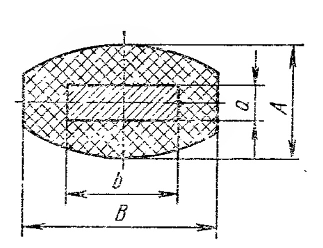


Рис. 7. Размеры прямоугольного обмоточного провода с хлопчатобумажной и стекловолокнистой изоляцией

Толщина изоляции прямоугольных проводов (*B*—*b*) (рис. 7) определяется в зависимости от размера проволоки по стороне *a* (табл. 28, 29); толщина изоляции (*A*—*a*) зависит от размера *b*.

Таблица 28 Толщина изоляции проводов с хлопчатобумажной изоляцией

Марка провода	Толщина изоляции (*B*—*b*), мм при размере меньшей стороны сечения проволоки *a*, мм				
	0,9—1,68	[illegible],81—1,95	2,[illegible]—[illegible]	4,1—5,[illegible]	6,0—7,0
ПБД	0,27	0,27	0,33	0,44	—
АПБД	—	0,27	0,33	0,44	0,47

Таблица 29. **Толщина изоляции проводов со стекловолокнистой изоляцией**

Марка провода	Толщина изоляции ($B-b$), мм, при размере меньшей стороны сечения проволоки a, мм		
	0,90—2,00	2,10—3,80	4,0—5,60
ПСД, ПСДК	0,27	0,33	0,40
ПСД-Л, ПСДК-Л	0,27	0,35	0,42
ПСДКТ	0,22	0,22	—
ПСДКТ-Л	0,24	0,24	—

Продолжение табл. 29

Марка провода	Толщина изоляции ($A-a$), мм, при размере большей стороны сечения проволоки b, мм						
	2,10—2,50	2,63—3,35	3,53—4,50	4,70—5,60	5,90—7,10	7,4—8,0	8,5—12,5
ПСД, ПСДК, ПСД-Л	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48
ПСДК-Л	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50
ПСДКТ	0,26	0,28	0,28	0,30	0,30	0,32	0,32
ПСДКТ-Л	0,28	0,30	0,30	0,32	0,32	0,34	0,34

Размеры провода ПЭТВП приведены в табл. 30.

Таблица 30. **Номинальные размеры проволоки a, b и максимальные размеры провода по изоляции A, B**

a, мм	A, мм	b, мм	B, мм, при размере a, мм		
			0,80—1,18	1,25—2,00	2,12—3,55
0,80	a+0,14	2,00—4,50	b+0,16	b+0,17	b+0,18
0,85—1,12	a+0,15	4,75—9,00	b+0,19	b+0,20	b+0,21
1,18—2,00	a+0,16	9,50—12,5	—	b+0,20	b+0,21
2,12—3,15	a+0,18	—	—	—	—
3,35—3,55	a+0,19	—	—	—	—

III. СХЕМЫ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

16. КЛАССИФИКАЦИЯ УКЛАДЫВАЕМЫХ В ПАЗЫ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Обмотки классифицируются по ряду признаков:

1) по применению — обмотки статора и ротора;
2) по расположению в пазах — однослойные и двухслойные;
3) по форме катушек — концентрические и равнокатушечные;
4) по форме лобовых частей — двухплоскостные, трехплоскостные, переплетенные (корзиночные);
5) по сечению провода — мягкие (всыпные из круглого провода) и жесткие (из прямоугольного провода);
6) по расположению выводов катушек — петлевые и волновые;
7) по шагу обмотки — с диаметральным, укороченным и удлиненным шагами;
8) по числу q (число пазов на полюс и фазу) — с целым и дробным q;
9) по укладке обмотки в пазы — впротяжку, всыпные, вкладываемые;
10) по изоляции — с гильзовой и непрерывной изоляцией;
11) по защите от влаги — пропитанные и компаундированные.

17. СХЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК *

На рис. 8—22 приведены схемы наиболее распространенных однослойных обмоток. Для удобства пользования рисунки схем расположены в порядке возрастания чисел полюсов $2p$ и пазов z.

Различают однослойные концентрические и однослойные шаблонные обмотки.

Концентрическая обмотка состоит из катушек, расположенных одна внутри другой (рис. 12, *а*). Число катушечных групп в такой обмотке равно $6p$. При четном числе пар полюсов число катушечных групп получается четным, причем половина катушечных групп выполняется с длинными лобовыми частями, половина — с короткими. При нечетном числе пар полюсов, когда число катушечных групп нечетное, одну из групп выполняют несимметричной (рис. 20).

В концентрической обмотке вразвалку (рис. 17) катушечные группы разделяются на две полугруппы. Такая обмотка обычно выполняется при q больше двух и позволяет уменьшить вылет лобовых частей вследствие более рационального их размещения. Несимметричная катушечная группа в такой обмотке отсутствует и при нечетном числе пар полюсов. Сопротивления фаз концентрической обмотки вразвалку получаются разными из-за неодинаковой длины лобовых частей катушек в фазах: одной фазе принадлежат все малые полугруппы, второй — средние, третьей — большие. Это вносит некоторую несимметрию в обмотку.

---

* Схемы трехфазных однослойных и двухслойных обмоток на многие типы асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт приведены в книгах: Обмоточные данные асинхронных двигателей. Под ред. П. И. Цибулевского. — М.: Энергия, 1971; Маршак Е. Л., Уманцев Р. Б. Схемы обмоток статоров. — М.: Энергия, 1967.

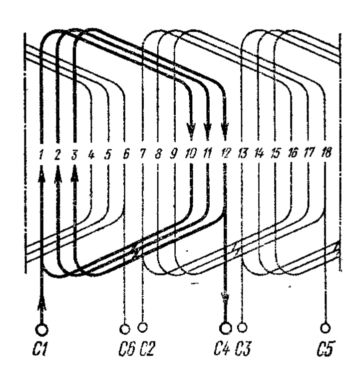


Рис. 8. Простая шаблонная обмотка при $2p=2$, $z=18$, $q=3$, $y=9(1-10)$, $a=1$

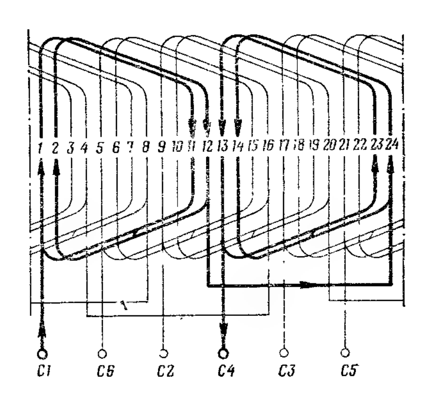


Рис. 9. Шаблонная обмотка вразвалку при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $y=10(1-11)$, $a=1$

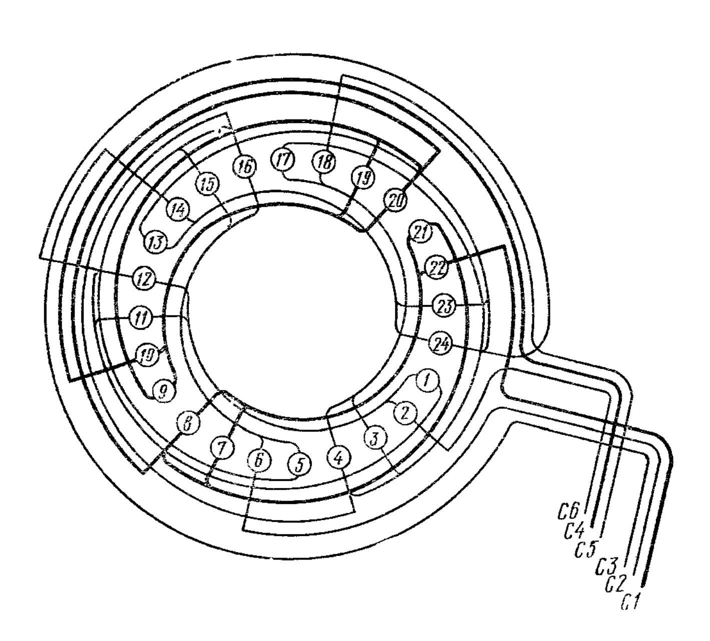


Рис. 10. Шаблонная обмотка вразвалку с концентрическими катушками при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $y=11(1-12)$, $9(2-11)$, $a=1$

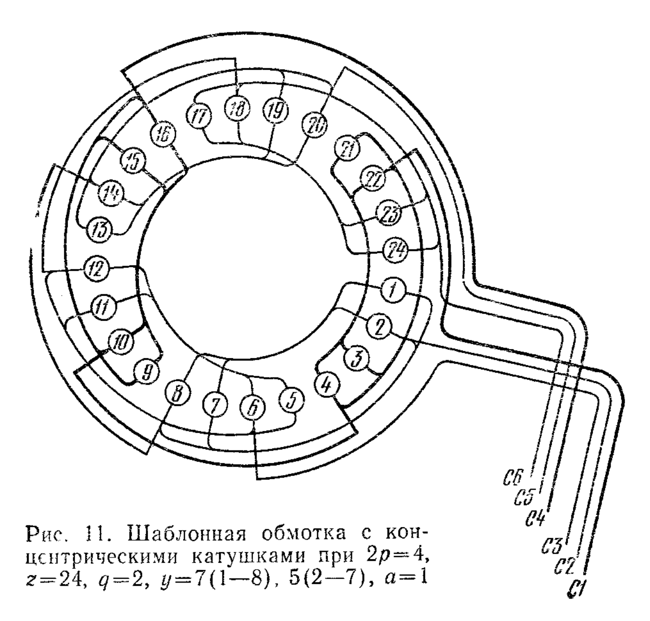


Рис. 11. Шаблонная обмотка с концентрическими катушками при $2p=4$, $z=24$, $q=2$, $y=7(1-8)$, $5(2-7)$, $a=1$

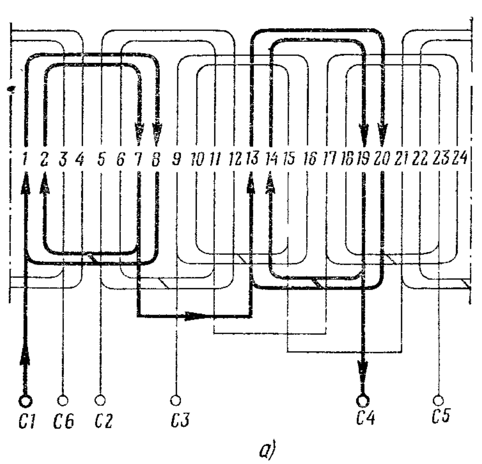
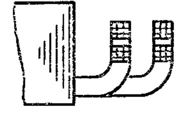
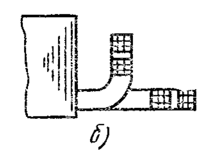
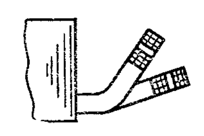


Рис. 12. Концентрическая (двухплоскостная) обмотка при $2p=4$, $z=24$, $q=2$, $y=7(1-8)$, $5(2-7)$, $a=1$:

а — схема обмотки, *б* — варианты расположения лобовых частей

б)

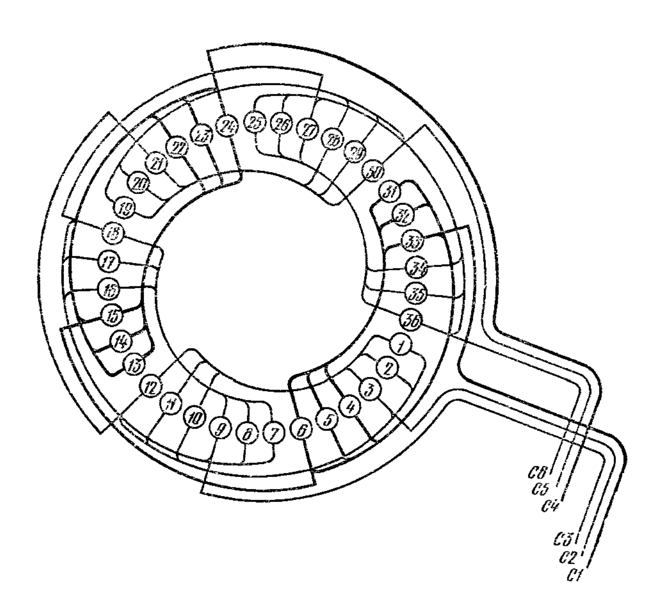


Рис. 13. Шаблонная обмотка с концентрическими катушками при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $y=11\,(1-12)$, $9\,(2-11)$, $7\,(3-10)$, $a=1$

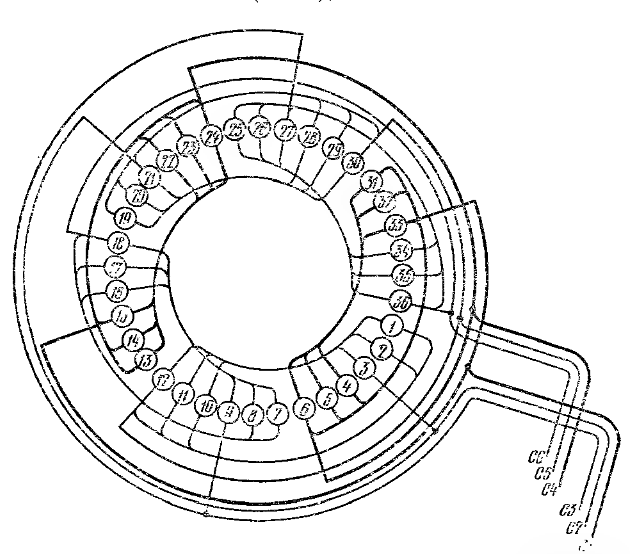


Рис. 14. Шаблонная обмотка с концентрическими катушками при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $y=11\,(1-12)$, $9\,(2-11)$, $7\,(3-10)$, $a=2$

Лобовые части концентрических обмоток располагаются в двух или трех «плоскостях» или «ярусах». В соответствии с этим различают двухплоскостные (рис. 12) и трехплоскостные (рис. 17) или двухъярусные и трехъярусные обмотки. Лобовые части концентри-

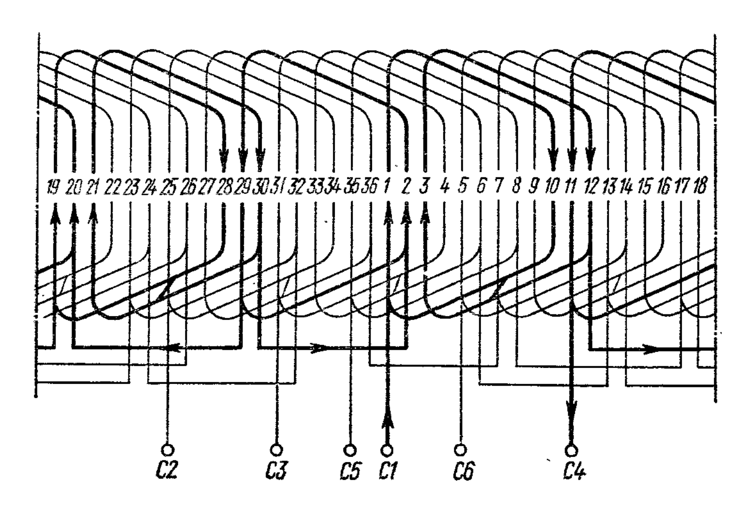


Рис. 15. Цепная обмотка с диаметральным шагом при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $y=9(1-10)$, $a=1$

ческой обмотки вразвалку располагаются в трех плоскостях. Концентрические обмотки иногда называют катушечными; они не всегда симметричны из-за разной длины лобовых частей катушек.

Шаблонные обмотки получаются симметричными, так как катушки имеют одинаковую ширину и форму. Их подразделяют на следующие типы: простые шаблонные (рис. 8), шаблонные вразвалку (рис. 9) и цепные (рис. 15). Катушки шаблонных обмоток обычно имеют форму трапеции для более удобного размещения лобовых частей. В цепных обмотках «развалка» производится не по полугруппам, а по катушкам, в результате чего короткие и длинные стороны катушек чередуются. Этот тип обмотки позволяет получить более компактную укладку лобовых частей. Цепные обмотки выполняют с диаметральным (рис. 15) или укороченным (рис. 16) шагом. В цепных обмотках с укороченным шагом при q, равном нечетному числу, получаются «несплошные» фазные зоны; в таких обмотках кривая поля несимметрична и поэтому их стараются не применять.

Шаг в цепных обмотках всегда равен нечетному числу. Это условие вытекает из чередования катушечных сторон. Если длинные стороны катушек занимают нечетные номера пазов, то короткие, которые лежат рядом, — четные. Поскольку в каждой катушке есть одна длинная и одна короткая стороны, то шаг равен разности между четными и нечетными номерами, т. е. нечетному числу.

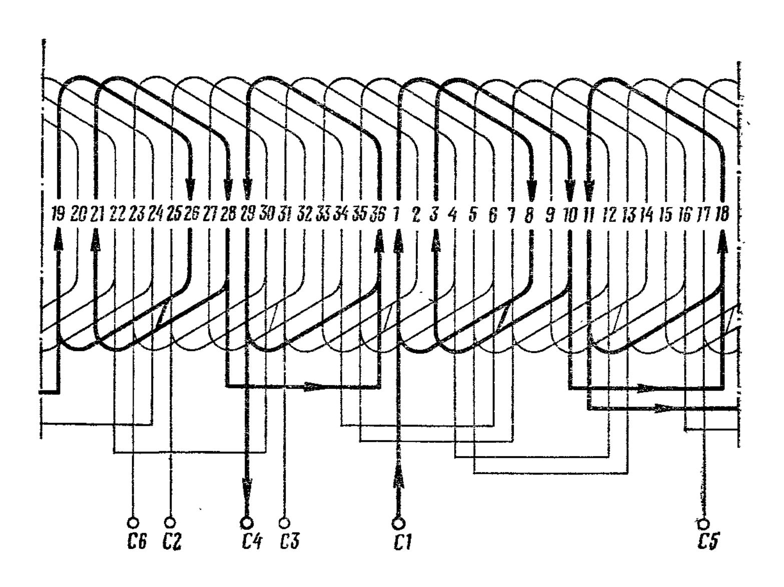


Рис. 16. Цепная обмотка с укороченным шагом при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $y=7(1-8)$, $a=1$

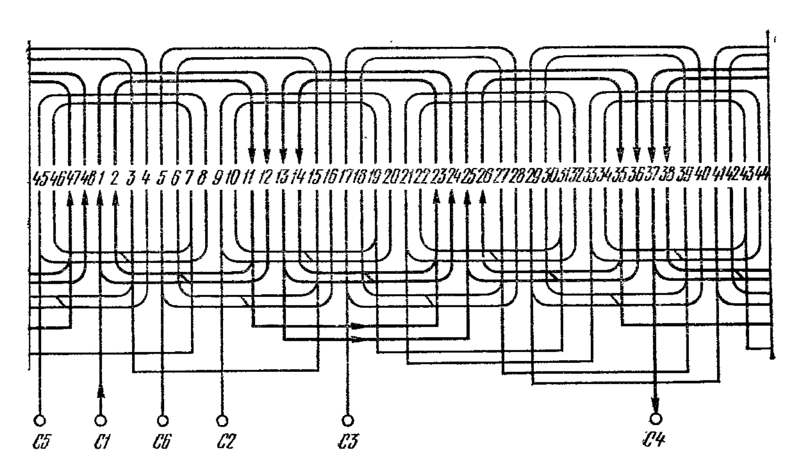


Рис. 17. Концентрическая обмотка вразвалку (трехплоскостная) при $2p=4$, $z=48$, $q=4$, $y=11(1-12)$, $9(2-11)$, $a=1$

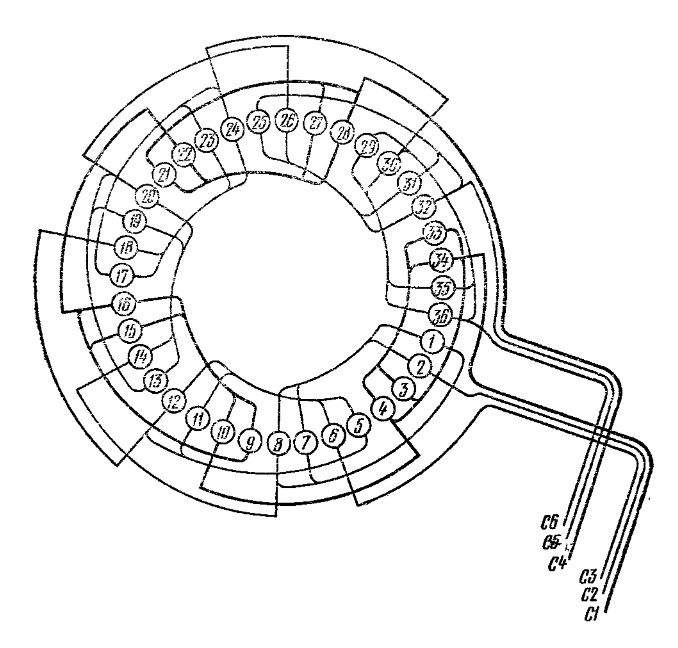


Рис. 18. Шаблонная обмотка с концентрическими катушками при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $y=7(1-8)$, $5(2-7)$, $a=1$

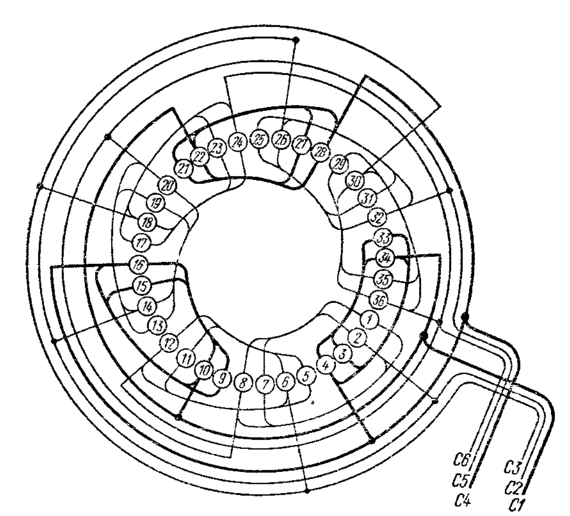


Рис. 19 Шаблонная обмотка с концентрическими катушками при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $y=7(1-8)$, $5(2-7)$, $a=3$

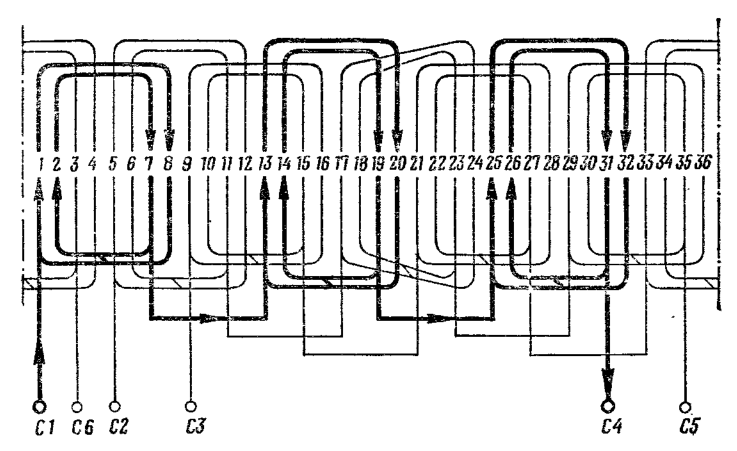


Рис. 20. Концентрическая обмотка с несимметричной катушечной группой при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $y=7(1-8)$, $5(2-7)$, $a=1$

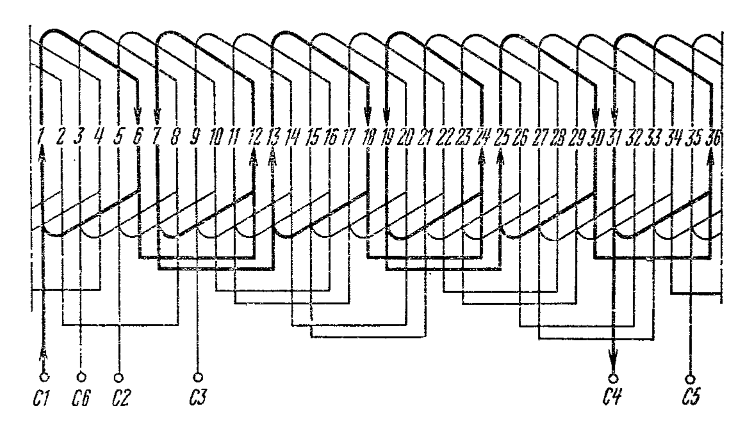


Рис. 21. Цепная обмотка при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $y=5(1-6)$, $a=1$

Среди однослойных шаблонных обмоток выделяется так называемая шаблонная обмотка с концентрическими катушками (рис. 13), в которой катушечные группы или полугруппы составляются из неодинаковых по ширине катушек, расположенных одна в другой. При таком выполнении обмотки уменьшается число перекрещиваний лобовых частей катушек.

Шаблонные обмотки с концентрическими катушками широко распространены в промышленности. Они отличаются от концентрических обмоток формой катушек и тем, что все катушечные группы или полугруппы в них получаются одинаковыми.

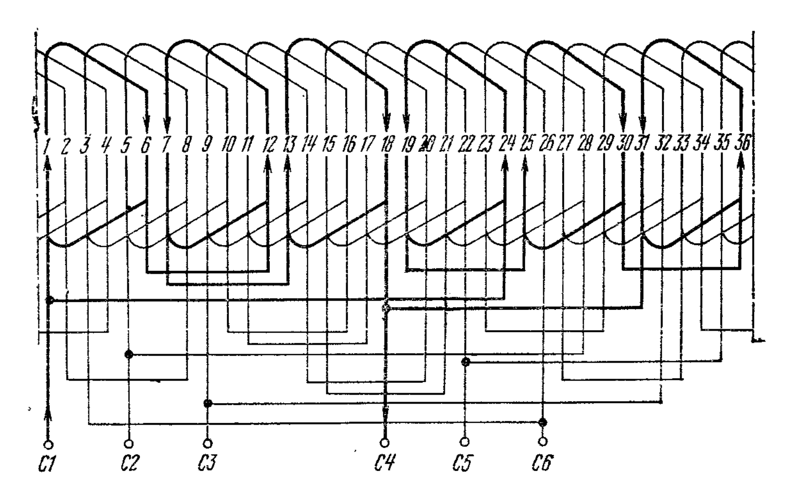


Рис. 22. Цепная обмотка при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $y=5(1-6)$, $a=2$

18. СХЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЕТЛЕВЫХ ОБМОТОК С ЦЕЛЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Двухслойные трехфазные петлевые обмотки обычно изготовляют в виде отдельных катушек (секций). Катушечные группы из круглого провода наматывают целиком, если их укладка не представляет затруднений, а в двигателях небольшой мощности наматывают непрерывно всю фазу.

Обмотку из провода прямоугольного сечения в виде катушечных групп укладывают лишь в открытые пазы при сравнительно небольших размерах катушек, как, например, в роторах единой серии асинхронных двигателей А, АО до 100 кВт.

Межгрупповые соединения в петлевых обмотках выполняют голыми медными шинами, на которые потом накладывают изоляцию, или концами катушек, которые делают достаточной для этого длины. Схемы двухслойных обмоток довольно сложны, особенно при большом числе полюсов и параллельных ветвей. Схемы применительно к виду на обмотку с торца, иа которых катушечная группа изображается отрезком дуги (рис. 23, *а*), очень удобны для выполнения соединений и часто применяются при сборке соединений двухслойных петлевых обмоток. Развернутая схема этой же обмотки приведена на рис. 23, *б*.

При двух или нескольких параллельных ветвях в обмотке каждая ветвь может быть образована последовательным соединением соседних катушечных групп — сосредоточенное соединение (рис. 24—36) или групп, равномерно распределенных по окружности статора — распределенное соединение (рис. 37—39). Последнее применяется обычно в средних и крупных машинах с жесткой обмоткой.

На схемах маркировка фаз произведена по направлению счета, т е. против часовой стрелки. В случае необходимости маркировка

фаз может быть сделана на схемах по часовой стрелке, при этом наименование выводов изменяется следующим образом: *С1* на *С6*, *С2* на *С5*, *С3* на *С4*, *С4* на *С3*, *С5* на *С2*, *С6* на *С1*.

В современных трехфазных машинах переменного тока статорные обмотки, как правило, имеют шесть выводов; фазы соединяются

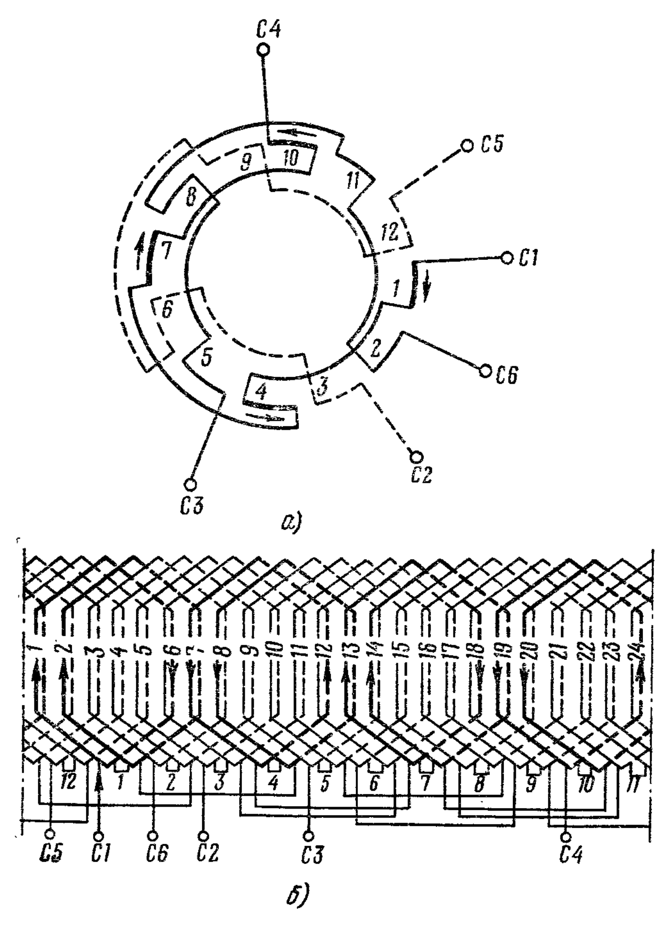


Рис. 23. Торцовая (*а*) и соответствующая ей развернутая схема (*б*) петлевой двухслойной обмотки при $2p=4$, $z=24$, $q=2$, $y=5(1-6)$, $a=1$

звездой или треугольником на колодке зажимов. В обмотках фазных роторов фазы соединяют между собой внутри обмотки и к контактным кольцам выводятся лишь три конца. Если фазы образуют звезду, то объединяются в общую точку или припаиваются к общей ши-

не концы фаз (рис. 40); в случае соединения фаз треугольником конец первой фазы припаивается к началу второй фазы, конец второй — к началу третьей, а конец третьей — к началу первой. Выводы от обмотки присоединяются к вершинам треугольника (рис. 41).

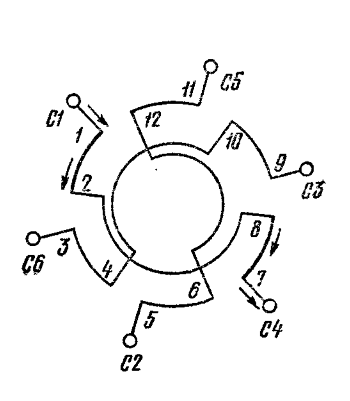


Рис. 24. Схема при $2p=2$, $a=1$

Рис. 25. Схема при $2p=2$, $a=2$

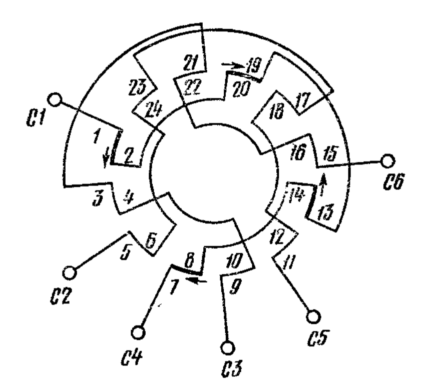


Рис. 26. Схема при $2p=4$, $a=1$

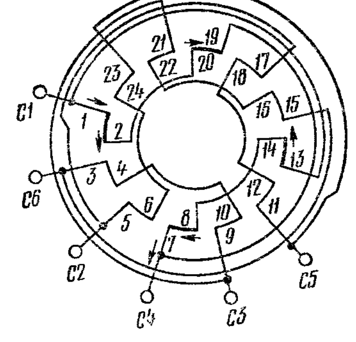


Рис. 27. Схема при $2p=4$, $a=2$

При наличии в обмотке нескольких параллельных ветвей и применении шин для припайки выводов катушечных групп перемычки, образующие параллельные ветви в фазах при соединении соответствующих выводов, заменяются общими шинами (рис. 42).

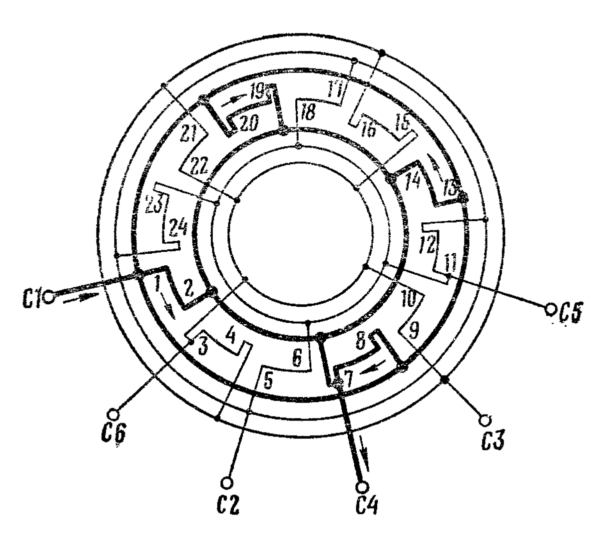


Рис. 28. Схема при $2p=4$, $a=4$

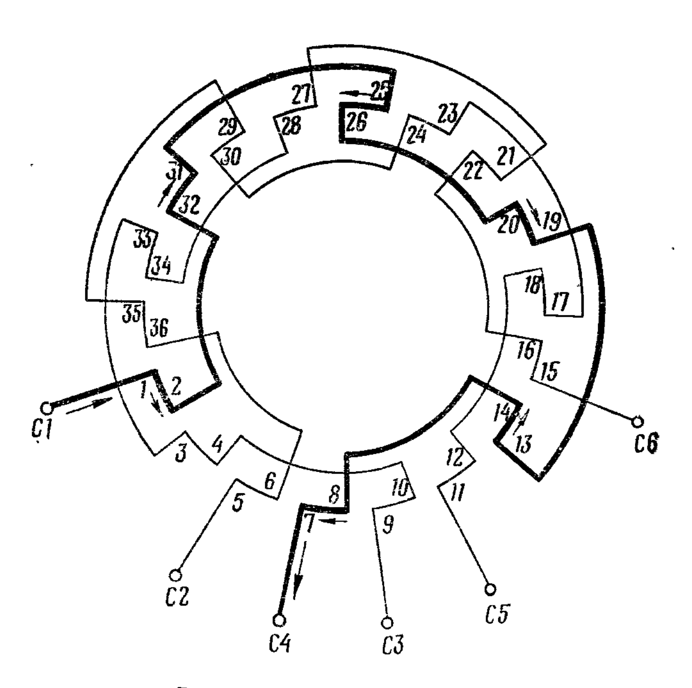


Рис. 29. Схема при $2p=6$, $a=1$

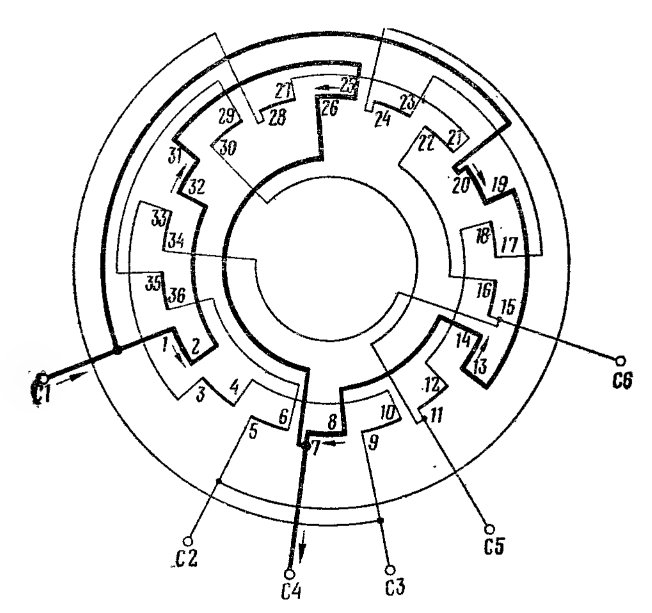


Рис. 30. Схема при $2p=6$, $a=2$

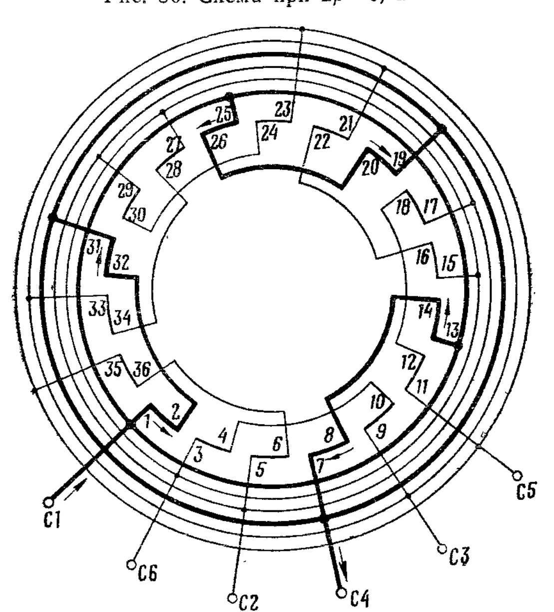


Рис. 31. Схема при $2p=6$, $a=3$

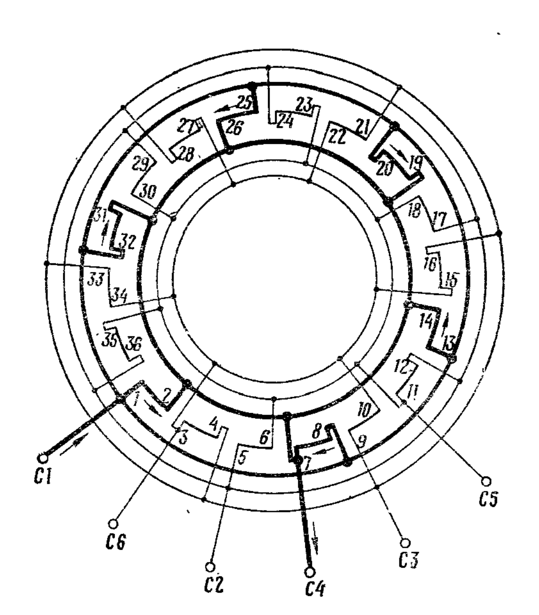


Рис. 32. Схема при $2p=6$, $a=6$

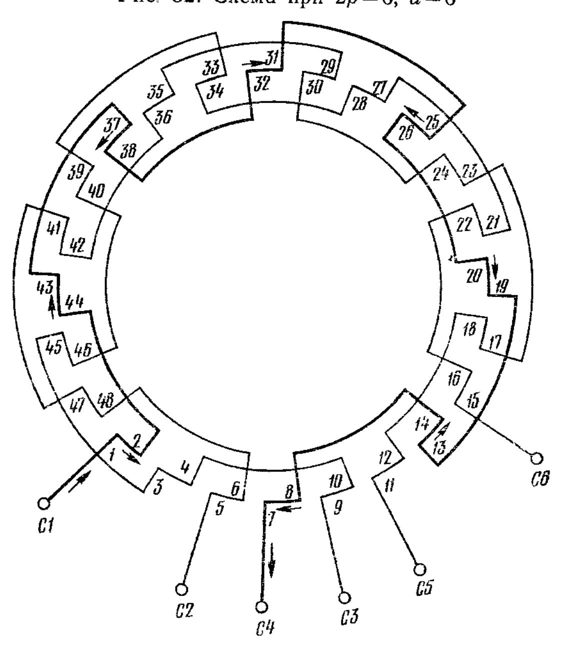


Рис. 33. Схема при $2p=8$, $a=1$

Рис. 34. Схема при $2p=3$, $a=2$

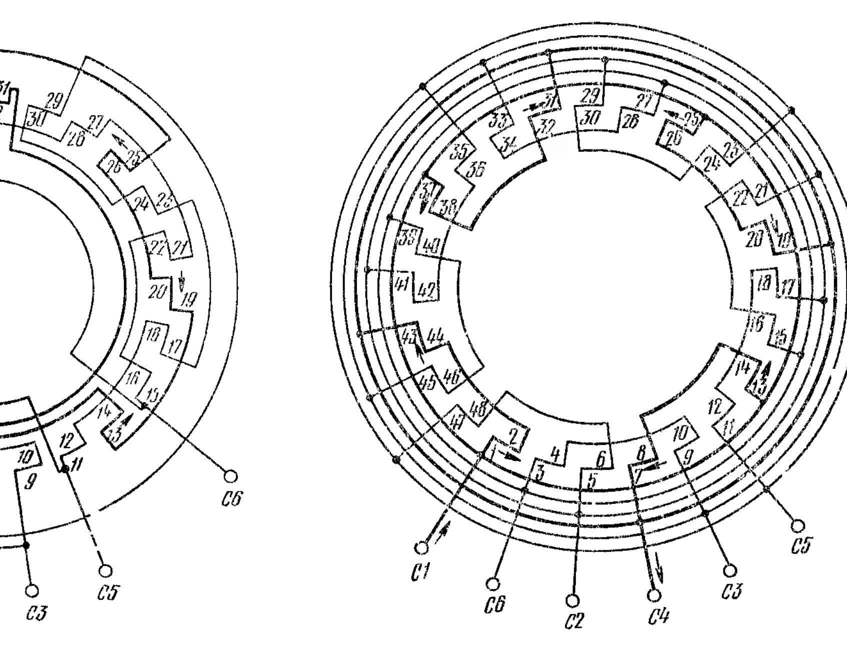


Рис. 35. Схема при $2p=8$, $a=4$

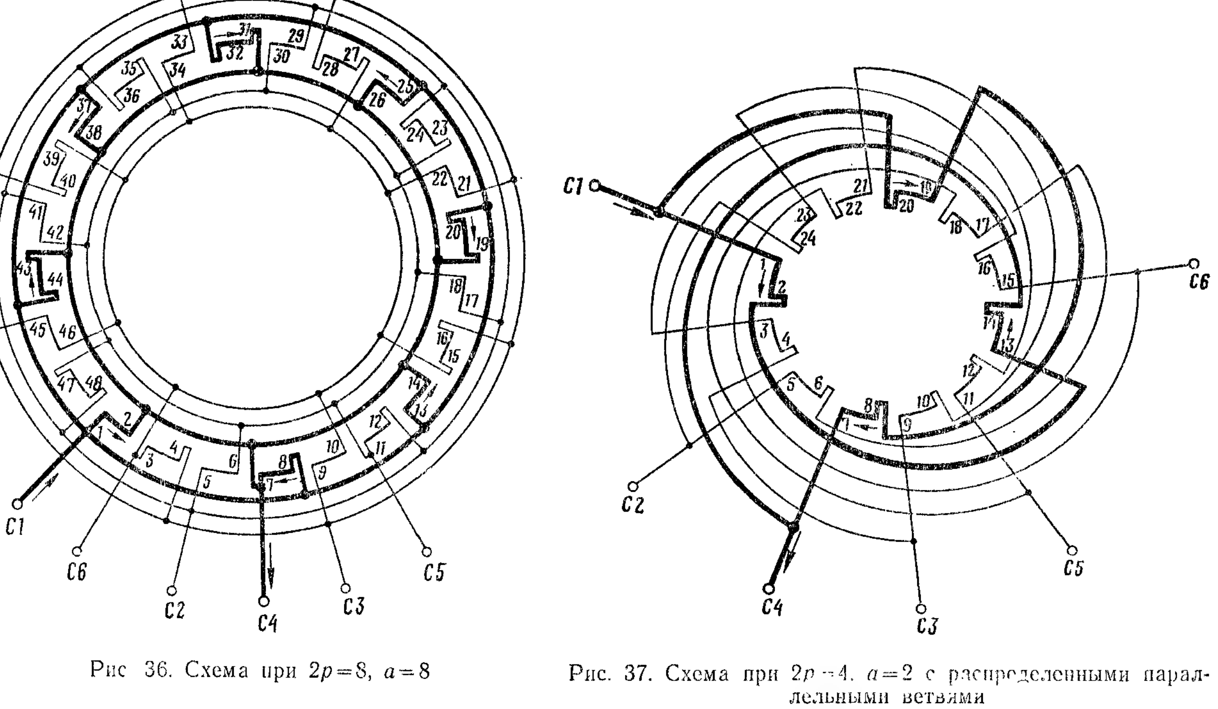


Рис 36. Схема при $2p=8$, $a=8$

Рис. 37. Схема при $2p=4$, $a=2$ с распределенными параллельными ветвями

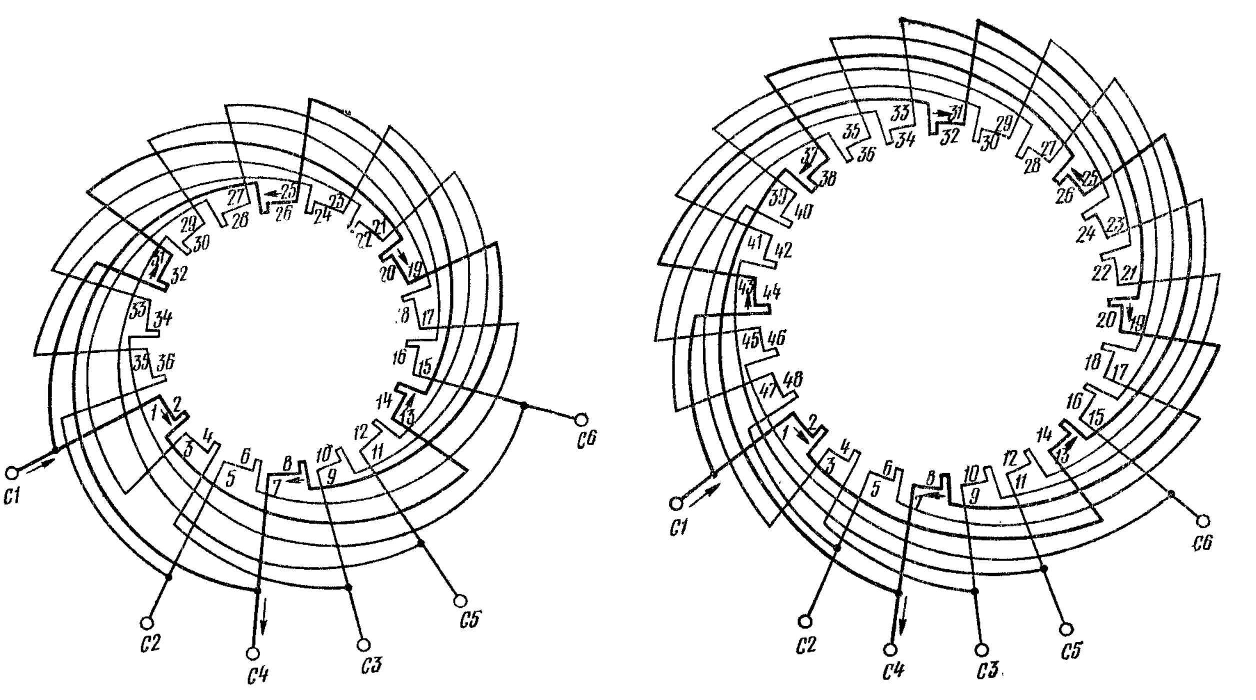


Рис. 38. Схема при $2p=6$, $a=2$ с распределенными параллельными ветвями

Рис. 39. Схема при $2p=8$, $a=2$ с распределенными параллельными ветвями

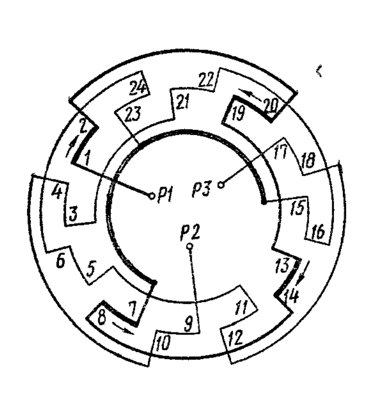


Рис. 40. Схема петлевой обмотки ротора при $2p=4$, $a=1$ и соединении фаз в звезду

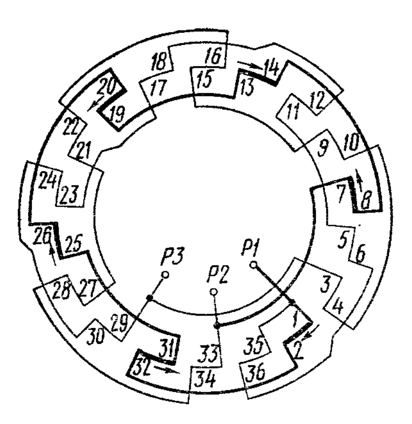


Рис. 41. Схема петлевой обмотки ротора при $2p=6$, $a=1$ и соединении фаз в треугольник

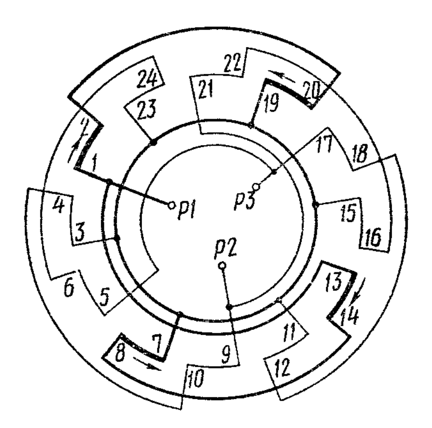


Рис. 42. Схема петлевой обмотки ротора при $2p=4$, $a=2$ и соединении фаз в звезду

19. ЧИСЛА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ ДВУХСЛОЙНОЙ ПЕТЛЕВОЙ ОБМОТКИ ПРИ ЦЕЛОМ ЧИСЛЕ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Таблица 31

Число полюсов $2p$	Число параллельных ветвей a	Число полюсов $2p$	Число параллельных ветвей a
2	1; 2	14	1; 7; 14
4	1; 2; 4	16	1; 2; 4; 8; 16
6	1; 2; 3; 6	18	1; 2; 3; 6; 9; 18
8	1; 2; 4; 8	20	1; 2; 4; 5; 10; 20
10	1; 2; 5; 10	22	1; 2; 11; 22
12	1; 2; 3; 4; 6; 12	24	1; 2; 3; 4; 6; 8; 12; 24

20. СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЕТЛЕВЫХ ОБМОТОК С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Дробное число пазов в общем случае может быть представлено в виде смешанного (целого с правильной дробью) числа

$$q = b + c/d,$$

где b — целое число; c/d — несократимая (правильная) дробь.

Обмотку с дробным q обычно выполняют из малых и больших катушечных групп, отличающихся количеством катушек. В малой катушечной группе число катушек равно b, т. е. целой части числа q, в большой — на одну больше, т. е. $b+1$. Эти катушечные группы для получения одинакового числа витков и пазов в фазах должны при укладке чередоваться в определенном порядке (табл. 32).

Таблица 32. **Порядок чередования катушечных групп при дробном числе пазов на полюс и фазу**

Число пазов на полюс и фазу q*	Порядок чередования катушечных групп
$1^1/_2$	1.2; 1.2; и т д
$1^1/_4$	1.1.1.2; 1.1.1. 2 и т.д.
$1^3/_4$	1.2.2.2; 1.2.2.2 и т д
$1^1/_5$	1.1.1.1.2; 1.1.1.1.2 и т.д
$1^2/_5$	2.1.2.1.1; 2.1.2.1.1 и т.д.
$1^3/_5$	1.2.1.2.2; 1.2.1.2.2 и т.д.
$1^4/_5$	2.2.2.2.1; 2.2.2.2.1 и т.д.
$1^1/_7$	1.1.1.1.1.1.2; 1.1.1.1.1.1.2 и т.д.
$1^2/_7$	1.2.1.1.1.2.1; 1.2.1.1.1.2.1 и т д.
$1^3/_7$	2.1.2.1.2.1.1; 2.1.2.1.2.1.1 и т.д.
$1^4/_7$	2.1.2.1.2.1.2; 2.1.2.1.2.1.2 и т д
$1^5/_7$	2.1.2.2.2.1.2; 2.1.2.2.2.1.2. и т д.
$1^6/_7$	2.2.2.2.2.2.1; 2.2.2.2.2.2.1 и т д
$1^1/_8$	1.1.1.1.1.1.1.2; 1.1.1.1.1.1.1.2 и т д.
$1^3/_8$	2.1.2.1.1.2.1.1; 2.1.2.1.1.2.1.1 и т д
$1^5/_8$	2.2.1.2.2.1.2.1; 2.2.1.2.2.1.2.1 и т д
$1^7/_8$	2 2 2 2.2.2.2.1; 2 2 2.2.2.2.2.1 и т д
$1^1/_{10}$	1.1.1.1.1.1.1.1.1.2; 1.1 1.1.1.1.1.1.1.2 и т.д.
$1^3/_{10}$	2.1.1.2.1.1.2.1.1.1; 2.1.1.2.1.1.2,1.1.1. и т д.
$1^7/_{10}$	2.2.2.1.2.2.1.2.2.1; 2.2.2.1.2.2.1.2.2.1 и т.д
$1^9/_{10}$	2.2.2.2.2.2.2.2.2.1; 2.2.2.2.2.2.2.2.2.1 и т.д

* Если целое число перед дробью больше единицы, то в таблице чередования надо прибавить к каждой цифре разницу между этой цифрой и единицей. Например.

1) при $q=1^1/_2$ чередование 1.2, при
$q=2^1/_2$ чередование 2.3, а при
$q=3^1/_2$ чередование 3 4 и т. д ;
2) при $q=1^1/_4$ чередование 1.1.1.2, при
$q=2^1/_4$ чередование 2.2.2.3, а при
$q=3^1/_4$ чередование 3.3.3.4 и т. д.;
3) при $q=1^3/_4$ чередование 1.2 2.2. при
$q=2^3/_4$ чередование 2 3.3.3, а при
$q=3^3/_4$ чередование 3.4.4.4 и т. д.

В симметричной двухслойной обмотке должно соблюдаться условие *

$$\frac{z}{tm} = \text{целое число},$$

где t — наибольший делитель для z и p.

Число параллельных ветвей a в обмотке с дробным q может быть выполнено при условии: $2p/ad$=целое число. Только в этом

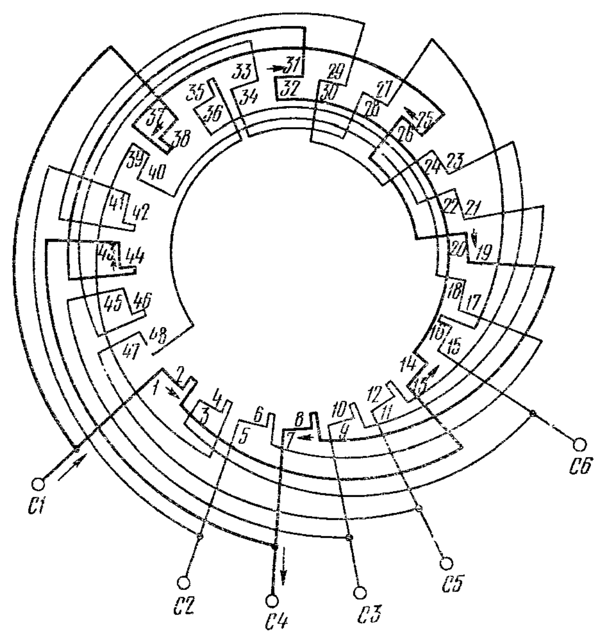


Рис. 43. Схема петлевой обмотки при $2p=8$, $a=2$ с распределенными параллельными ветвями и знаменателе дробности 2, т. е. при $q = 1\frac{1}{2}, 2\frac{1}{2}, 3\frac{1}{2}$ и т.д.

случае будет одинаковое число больших и малых катушечных групп в каждой параллельной ветви.

В обмотках с сосредоточенным соединением катушечных групп схемы выполняются так же, как и при целом числе пазов на полюс и фазу; уменьшается лишь возможное число параллельных ветвей (табл. 33).

Пример схемы обмотки с распределенным соединением при $2p=8$; $a=2$ и знаменателе дробности $2 (q=1^1/_2; 2^1/_2; 3^1/_2$ и т. д.) приведен на рис. 43.

* Для однослойных обмоток кроме выполнения этого условия необходимо иметь $z/2m$=целое число.

Таблица 33. **Числа параллельных ветвей в двухслойных трехфазных петлевых обмотках при дробном числе пазов на полюс и фазу**

Число полюсов 2 p	Число параллельных ветвей a при общем числе пазов z																	
	9	15	18	21	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66
2	1	1	—	1	1	—	1	—	1	—	1	—	1	—	1	—	—	—
4	—	1	1; 2	1	1	1; 2	1	—	1	1; 2	1	—	1	1; 2	1	—	1	1; 2
6	—	—	—	—	1; 3	—	—	—	—	—	1; 3	—	—	—	—	—	1; 3	—
8	—	—	—	—	1	1; 2	1	1; 2; 4	1	1; 2	1	—	1	1; 2	1	1; 2; 4	1	1; 2
10	—	—	—	—	—	—	1	1; 2	1	1; 2	1; 5	1; 2	1	1; 2	1	—	1	1; 2
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1; 3	—	—	1; 2; 3; 6	—	—	1; 3	—

Продолжение табл. 33

Число полюсов 2p	Число параллельных ветвей a при общем числе пазов z																
	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	1	—	1	1; 2	1	—	1	1; 2	1	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	1; 3	—	—	—	—	—	1; 3	—	—	—	—	—	1; 3
8	1	—	1	1; 2	1	1; 2; 4	1	1; 2	1	—	1	1; 2	1	1; 2; 4	1	1; 2	1
10	1	1; 2	1; 5	1; 2	1	1; 2	1	—	1	1; 2	1	1; 2	1; 5	1; 2	1	1; 2	1
12	—	—	—	—	1; 3	—	—	1; 2; 3; 6	—	—	1; 3	—	—	—	—	—	1; 3

21. ДВУХСЛОЙНЫЕ КОНЦЕНТРИЧЕСКИЕ И ОДНО-ДВУХСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ

Двухслойные концентрические (катушечные) обмотки в настоящее время наряду с равнокатушечными находят широкое применение в качестве статорных обмоток асинхронных трехфазных электродвигателей. Катушечные группы этих обмоток состоят из расположенных одна внутри другой катушек (рис. 44), как и у однослойной концентрической обмотки. Однако в двухслойных концентрических обмотках одна из сторон каждой катушки укладывается на дно паза, а другая — в верхнюю его часть (у клина). Так, у показанной на рисунке обмотки стороны первой катушечной группы первой фазы, расположенные в пазах 11, 12, 13, 14, уложены на дно, а стороны в пазах 1, 2, 3, 4 — в верхнюю часть. Применение концентрических катушек в двухслойной обмотке позволяет более плотно уложить лобовые части и уменьшить их вылет.

Катушечные группы в отличие от однослойных концентрических обмоток в данном случае во всех фазах одинаковы, и лобовые части катушек при укладке ложатся одна поверх другой. В электрическом отношении этот тип обмотки равноценен обычной двухслойной обмотке с шагом, равным среднему значению шагов группы, и позволяет выбрать нужное укорочение. Так, например, приведенную обмотку можно представить как обычную двухслойную с шагом $y = 10(1 \div 11)$, т. е. первая катушка может быть уложена в пазы 1 и 11, вторая — в пазы 2 и 12, третья — в пазы 3 и 13, четвертая — в пазы 4 и 14.

Подсчитаем средний шаг обмотки:

$$y_1 = 13\,(1—14); \quad y_2 = 11\,(2—13); \quad y_3 = 9\,(3—12); \quad y_4 = 7\,(4—11);$$

$$y_{ср} = \frac{13 + 11 + 9 + 7}{4} = 10\,(1—11).$$

Соединения катушечных групп двухслойной концентрической обмотки можно выполнять по торцовым схемам двухслойных равнокатушечных обмоток. Необходимо только не допустить ошибки при нахождении начал и концов катушечных групп и правильно пронумеровать их выводы.

Одно-двухслойные обмотки, как и двухслойные концентрические, выполняют из катушечных групп с концентрическими катушками с укороченным шагом. Отличие состоит в том, что в одно-двухслойных обмотках те катушки, которые располагаются в пазах, не имеющих катушек других фаз, выполняют как однослойные (рис. 45, *а*). Такой смешанный тип обмотки позволяет произвести укладку, поднимая из пазов сравнительно наибольшее число сторон ранее уложенных катушек двухслойной части обмотки (рис. 45, *б*); он удобен для двухполюсных машин особенно при малом диаметре расточки статора, когда отгиб большого числа сторон в расточку при закладке катушек последнего шага * затруднен.

---

* Катушками последнего шага в двухслойной обмотке называют катушки, которые укладываются в пазы сердечника последними; количество их численно равно шагу обмотки, выраженному числом пазовых делений.

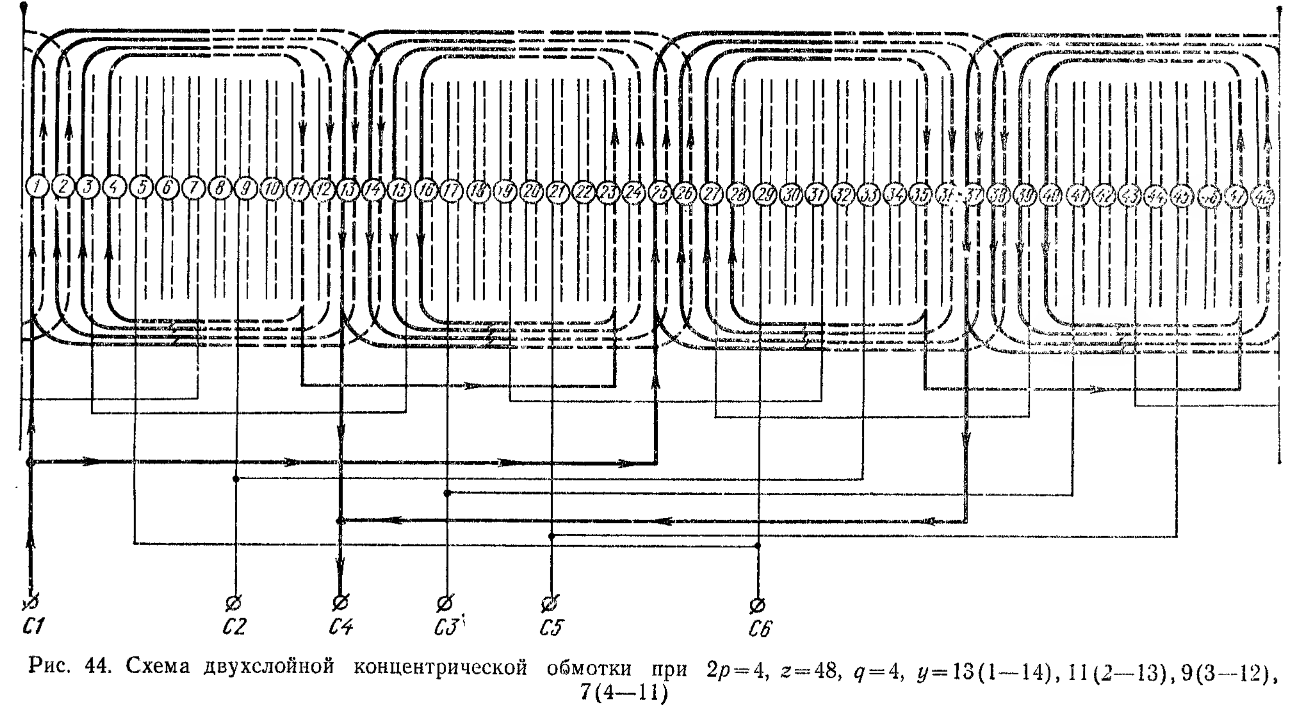
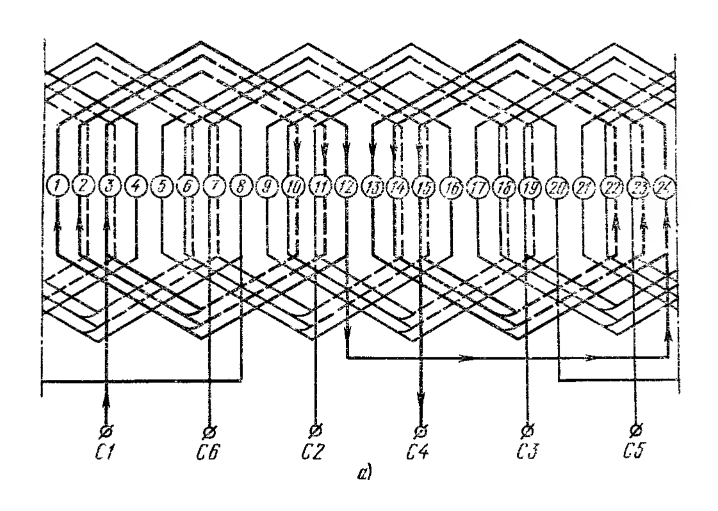


Рис. 44. Схема двухслойной концентрической обмотки при $2p=4$, $z=48$, $q=4$, $y=13(1-14)$, $11(2-13)$, $9(3-12)$, $7(4-11)$



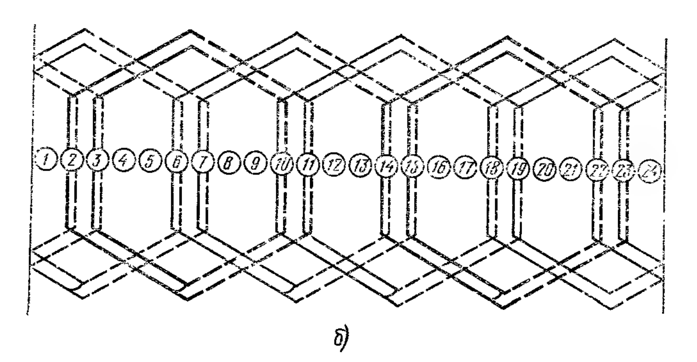


Рис. 45. Схема одно- и двухслойной обмотки (*а*) и расположение в пазах двухслойных катушек (*б*): $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $y=11(1-12)$, $9(2-11)$, $7(3-10)$, $a=1$

22. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ВОЛНОВЫХ ОБМОТОК С УКОРОЧЕННЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

Таблица 34

Число полюсов $2p$	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Шаги			Номера верхних стержней						Номера нижних стержней					
						Начала фаз			Концы фаз			Начала промежуточных соединений			Концы промежуточных соединений		
			y_1	y_2	$y_{2укор}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	I	II	III	IV	V	VI
4	18	1,5	1—5	1—6	1—5	1	7	13	5	11	17	13	1	7	18	6	12
4	24	2,0	1—7	1—7	1—6	1	9	17	7	15	23	18	2	10	24	8	16
4	30	2,5	1—8	1—9	1—8	1	11	21	8	18	28	21	1	11	29	9	19
4	36	3,0	1—10	1—10	1—9	1	13	25	10	22	34	26	2	14	35	11	23
4	42	3,5	1—11	1—12	1—11	1	15	29	11	25	39	29	1	15	40	12	26
4	48	4,0	1—13	1—13	1—12	1	17	33	13	29	45	34	2	18	46	14	30
4	54	4,5	1—14	1—15	1—14	1	19	37	14	32	50	37	1	19	51	15	33
4	60	5,0	1—16	1—16	1—15	1	21	41	16	36	56	42	2	22	57	17	37
4	66	5,5	1—17	1—18	1—17	1	23	45	17	39	61	45	1	23	62	18	40
4	72	6,0	1—19	1—19	1—18	1	25	49	19	43	67	50	2	26	68	20	44
4	84	7,0	1—22	1—22	1—21	1	29	57	22	50	78	58	2	30	79	23	51
4	96	8,0	1—25	1—25	1—24	1	33	65	25	57	89	66	2	34	90	26	58
6	27	1,5	1—5	1—6	1—5	1	7	22	5	11	26	22	1	16	27	6	21
6	36	2,0	1—7	1—7	1—6	1	9	29	7	15	35	30	2	22	36	8	28
6	45	2,5	1—8	1—9	1—8	1	11	36	8	18	43	36	1	26	44	9	34
6	54	3,0	1—10	1—10	1—9	1	13	43	10	22	52	44	2	32	53	11	41
6	63	3,5	1—11	1—12	1—11	1	15	50	11	25	60	50	1	36	61	12	47
6	72	4,0	1—13	1—13	1—12	1	17	57	13	29	69	58	2	42	70	14	54
6	81	4,5	1—14	1—15	1—14	1	19	64	14	32	77	64	1	46	78	15	60
6	90	5,0	1—16	1—16	1—15	1	21	71	16	36	86	72	2	52	87	17	67
6	99	5,5	1—17	1—18	1—17	1	23	78	17	39	94	78	1	56	95	18	73

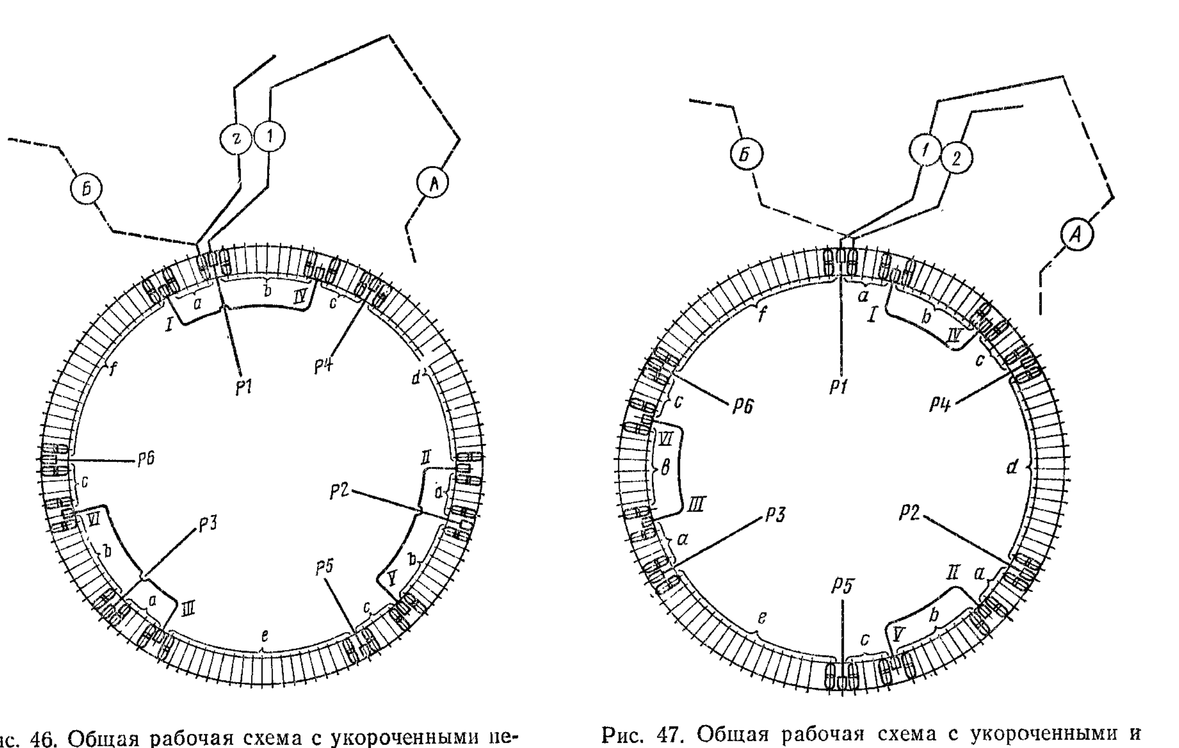
6	108	6,0	1—19	1—19	1—18	1	25	85	19	43	103	86	2	62	104	20	80
6	126	7,0	1—22	1—22	1—21	1	29	99	22	50	120	100	2	72	121	23	93
6	144	8,0	1—25	1—25	1—24	1	33	113	25	57	137	114	2	82	138	26	106
8	36	1,5	1—5	1—6	1—5	1	13	25	5	17	29	31	7	19	36	12	24
8	48	2,0	1—7	1—7	1—6	1	17	33	7	23	39	42	10	26	48	16	32
8	60	2,5	1—8	1—9	1—8	1	21	41	8	28	48	51	11	31	59	19	39
8	72	3,0	1—10	1—10	1—9	1	25	49	10	34	58	62	14	38	71	23	47
8	84	3,5	1—11	1—12	1—11	1	29	57	11	39	67	71	15	43	82	26	54
8	96	4,0	1—13	1—13	1—12	1	33	65	13	45	77	82	18	50	94	30	62
8	108	4,5	1—14	1—15	1—14	1	37	73	14	50	86	91	19	55	105	33	69
8	120	5,0	1—16	1—16	1—15	1	41	81	16	56	96	102	22	62	117	37	77
8	132	5,5	1—17	1—18	1—17	1	45	89	17	61	105	111	23	67	128	40	84
8	144	6,0	1—19	1—19	1—18	1	49	97	19	67	115	122	26	74	140	44	92
8	168	7,0	1—22	1—22	1—21	1	57	113	22	78	134	142	30	86	163	51	107
8	192	8,0	1—25	1—25	1—25	1	65	129	25	89	153	162	34	98	186	58	122
10	45	1,5	1—5	1—6	1—5	1	16	31	5	20	35	40	10	25	45	15	30
10	60	2,0	1—7	1—7	1—6	1	21	41	7	27	47	54	14	34	60	20	40
10	75	2,5	1—8	1—9	1—8	1	26	51	8	33	58	66	16	41	74	24	49
10	90	3,0	1—10	1—10	1—9	1	31	61	10	40	70	80	20	50	89	29	59
10	105	3,5	1—11	1—12	1—11	1	36	71	11	46	81	92	22	57	103	33	68
10	120	4,0	1—13	1—13	1—12	1	41	81	13	53	93	106	26	66	118	38	78
10	135	4,5	1—14	1—15	1—14	1	46	91	14	59	104	118	28	73	132	42	87
10	150	5,0	1—16	1—16	1—15	1	51	101	16	66	116	132	32	82	147	47	97
10	165	5,5	1—17	1—18	1—17	1	56	111	17	72	127	144	34	89	161	51	106
12	54	1,5	1—5	1—6	1—5	1	16	40	5	20	44	49	10	34	54	15	39
12	72	2,0	1—7	1—7	1—6	1	21	53	7	27	59	66	14	46	72	20	52
12	90	2,5	1—8	1—9	1—8	1	26	66	8	33	73	81	16	56	89	24	64
12	108	3,0	1—10	1—10	1—9	1	31	79	10	40	88	98	20	68	107	29	77
12	126	3,5	1—11	1—12	1—11	1	36	92	11	46	102	113	22	78	124	33	89
12	144	4,0	1—13	1—13	1—12	1	41	105	13	53	117	130	26	90	142	38	102
12	162	4,5	1—14	1—15	1—14	1	46	118	14	59	131	145	28	100	159	42	114

23. РАБОЧИЕ СХЕМЫ ВОЛНОВЫХ ОБМОТОК С ВИДОМ НА ХОМУТИКИ

Для выполнения обмотки нет необходимости иметь полную схему, пользование которой к тому же затруднено ввиду ее громоздкости и малой наглядности. Рабочие схемы с видом на хомутики (рис. 46) содержат все необходимые данные. В них буквами в кружках *А*, *Б* и *Z* обозначены номера пазов, а буквами *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* — числа хомутиков, расположенных между выводами фаз и промежуточных соединений. Числа хомутиков, соответствующие буквам при разных числах пазов и полюсов обмотки, даны в табл. 35.

Соединения по рабочим схемам выполняют следующим образом. После укладки нижнего слоя обмотки отмечают первый паз, а также лобовые части нижних стержней пазов *А* и *Б*. Потом укладывают все верхние стержни и приступают к соединениям. На стороне, противоположной выводам, верхний стержень паза *1* соединяется с нижним стержнем паза *А*, после чего выполняются подряд все соединения на этой стороне между верхними и нижними стержнями, а затем переходят на сторону выводов. На верхний стержень паза *1* надевают вывод *Р1* — начало фазы. Нижний стержень паза *Б* соединяют с верхним стержнем паза *Z*, если обмотка с укороченными переходами (рис. 46), или с верхним стержнем паза *2*, если обмотка с укороченными и удлиненными переходами (рис. 47). Далее для схемы с укороченными переходами (см. рис. 46) соединяют нижние стержни пазов (Б—1), (Б—2), (Б—3) и т. д. соответственно с верхними стержнями пазов (*Z*—1), (*Z*—2), (*Z*—3) и т. д., выполняют *a* таких соединений слева от начала фазы, оставляя нижний стержень слева для прикрепления промежуточного соединения. Затем справа от начала фазы аналогичным образом выполняют *b* соединений верхних и нижних стержней, оставляя нижний стержень справа для конца промежуточного соединения. Далее опять соединяют *c* пар верхних и нижних стержней, и на верхний стержень справа надевают вывод Р4 — конец первой фазы. Соединив *d* пар верхних и нижних стержней, находят нижний стержень для начала промежуточного соединения второй фазы и т. д.

Сборка соединений при схеме с укороченными и удлиненными переходами осуществляется аналогично в соответствии с рис. 47 и табл. 35.



Рнс. 46. Общая рабочая схема с укороченными переходамн

Рис. 47. Общая рабочая схема с укороченными и удлиненными переходамн

5 — 827

Таблица 35. **Номера пазов и числа хомутиков для рабочих схем (см. рис. 46 и 47)**

Число полюсов 2p	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Номера пазов		Числа хомутиков					
			A	Б	a	b	c	d	e	f
4	18	1,5	5	14	1	3	0	0	0	0
4	24	2,0	7	19	1	4	1	0	0	0
4	30	2,5	8	23	2	5	1	0	0	0
4	36	3,0	10	28	2	6	2	0	0	0
4	42	3,5	11	32	3	7	2	0	0	0
4	48	4,0	13	37	3	8	3	0	0	0
4	54	4,5	14	41	4	9	3	0	0	0
4	60	5,0	16	46	4	10	4	0	0	0
4	66	5,5	17	50	5	11	4	0	0	0
4	72	6,0	19	55	5	12	5	0	0	0
4	84	7,0	22	64	6	14	6	0	0	0
4	96	8,0	25	73	7	16	7	0	0	0
6	27	1,5	5	23	1	3	0	0	9	0
6	36	2,0	7	31	1	4	1	0	12	0
6	45	2,5	8	38	2	5	1	0	15	0
6	54	3,0	10	46	2	6	2	0	18	0
6	63	3,5	11	53	3	7	2	0	21	0
6	72	4,0	13	61	3	8	3	0	24	0
6	81	4,5	14	68	4	9	3	0	27	0
6	90	5,0	16	76	4	10	4	0	30	0
6	99	5,5	17	83	5	11	4	0	33	0
6	108	6,0	19	91	5	12	5	0	36	0
6	126	7,0	22	106	6	14	6	0	42	0
6	144	8,0	25	121	7	16	7	0	48	0
8	36	1,5	5	32	1	3	0	6	6	6
8	48	2,0	7	43	1	4	1	8	8	8
8	60	2,5	8	53	2	5	1	10	10	10
8	72	3,0	10	64	2	6	2	12	12	12
8	84	3,5	11	74	3	7	2	14	14	14
8	96	4,0	13	85	3	8	3	16	16	16
8	108	4,5	14	95	4	9	3	18	18	18
8	120	5,0	16	106	4	10	4	20	20	20
8	132	5,5	17	116	5	11	4	22	22	22
8	144	6,0	19	127	5	12	5	24	24	24
8	168	7,0	22	148	6	14	6	28	28	28
8	192	8,0	25	169	7	16	7	32	32	32
10	45	1,5	5	41	1	3	0	9	9	9
10	60	2,0	7	55	1	4	1	12	12	12
10	75	2,5	8	68	2	5	1	15	15	15
10	90	3,0	10	82	2	6	2	18	18	18
10	105	3,5	11	95	3	7	2	21	21	21

Число полюсов 2 *p*	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Номера пазов		Числа хомутиков					
			A	*Б*	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
10	120	4,0	13	109	3	8	3	21	24	24
10	135	4,5	14	122	4	9	3	27	27	27
10	150	5,0	16	136	4	10	4	30	30	30
10	165	5,5	17	149	5	11	4	33	33	33
12	54	1,5	5	50	1	3	0	9	18	9
12	72	2,0	7	67	1	4	1	12	24	12
12	90	2,5	8	83	2	5	1	15	30	15
12	108	3,0	10	100	2	6	2	18	36	18
12	126	3,5	11	116	3	7	2	21	42	21
12	144	4,0	13	133	3	8	3	24	48	24
12	162	4,5	14	149	4	9	3	27	54	27
14	63	1,5	5	59	1	3	0	15	15	15
14	84	2,0	7	79	1	4	1	20	20	20
14	105	2,5	8	98	2	5	1	25	25	25
14	126	3,0	10	118	2	6	2	30	30	30
14	147	3,5	11	137	3	7	2	35	35	35
14	168	4,0	13	157	3	8	3	40	40	40
16	72	1,5	5	68	1	3	0	18	18	18
16	96	2,0	7	91	1	4	1	24	24	24
16	120	2,5	8	113	2	5	1	30	30	30
16	144	3,0	10	136	1	6	2	36	36	36
16	168	3,5	11	158	3	7	2	42	42	42
16	192	4,0	13	181	3	8	3	48	48	48
18	81	1,5	5	77	1	3	0	18	27	18
18	108	2,0	7	103	1	4	1	24	36	24
18	135	2,5	8	128	2	5	1	30	45	30
18	162	3,0	10	154	2	6	2	36	54	36
18	189	3,5	11	179	2	7	2	42	63	42
20	90	1,5	5	86	1	3	0	24	24	24
20	120	2,0	7	115	1	4	1	32	32	32
20	150	2,5	8	143	2	5	1	40	40	40
20	180	3,0	10	172	2	6	2	48	48	48
22	99	1,5	5	95	1	3	0	27	27	27
22	132	2,0	7	127	1	4	1	36	36	36
22	165	2,5	8	158	2	5	1	45	45	45
22	198	3,0	10	190	2	6	2	54	54	54
24	108	1,5	5	104	1	3	0	27	36	27
24	144	2,0	7	139	1	4	1	36	48	36
24	180	2,5	8	173	2	5	1	45	60	45
24	216	3,0	10	208	2	6	2	54	72	54

24 СХЕМЫ ОБМОТОК МНОГОСКОРОСТНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Многоскоростные трехфазные асинхронные двигатели обычно изготовляют на две, три и четыре частоты вращения.

Двухскоростные двигатели на кратные частоты вращения (число полюсов $2p=4/2$; $8/4$; $12/6$) имеют на статоре одну двухслойную обмотку, которая может переключаться на два разных числа полюсов 4 и 2,8, и 4,12 и 6.

Двухскоростные двигатели на некратные частоты вращения ($2p=6/4$) имеют две отдельные обмотки, расположенные в одних и тех

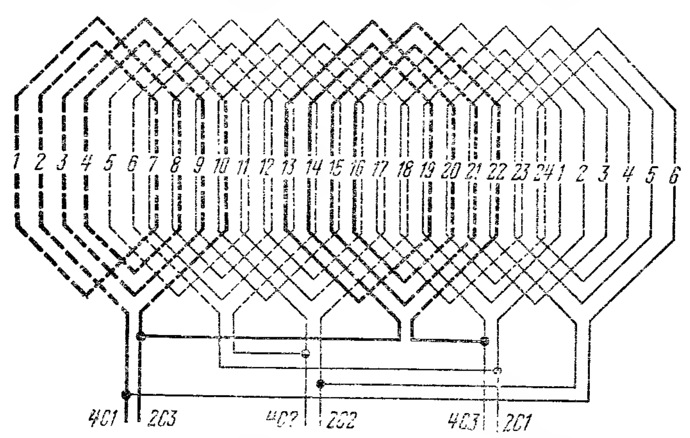


Рис. 48. Развернутая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=4/2$, $z=24$, $a=1$ и соединении фаз Δ/YY

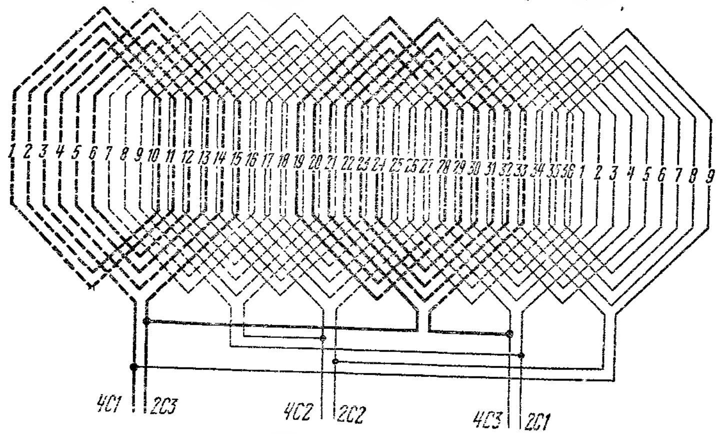


Рис. 49. Развернутая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=4/2$, $z=36$, $a=1$ и соединении фаз Δ/YY

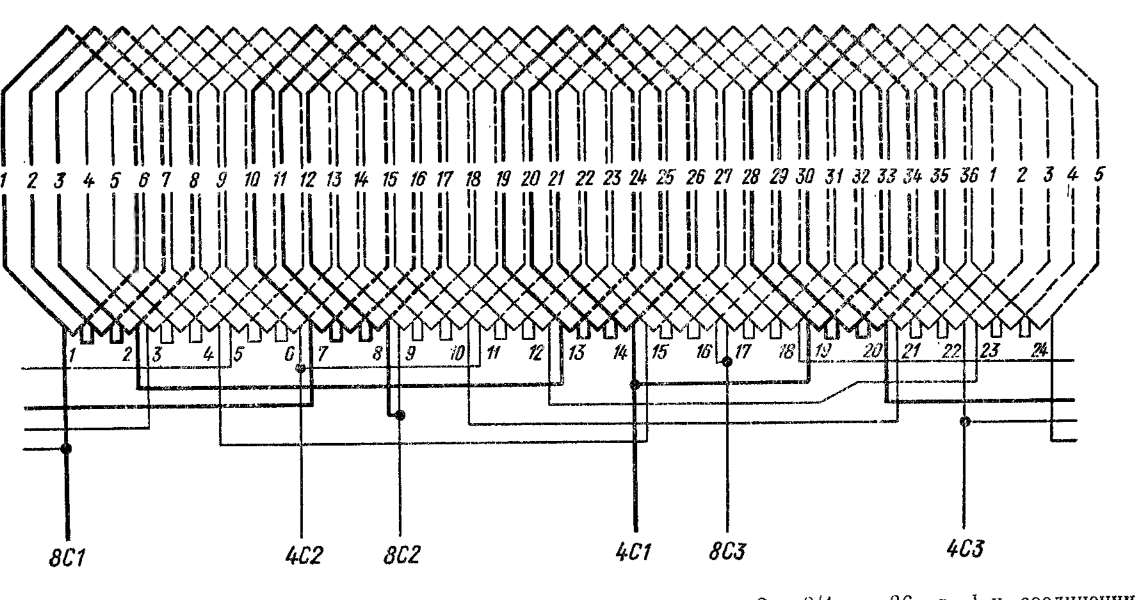


Рис. 50. Развернутая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=8/4$, $z=36$, $a=1$ и соединении фаз Δ/YY

же пазах. В этом случае обмотки выполняют однослойными с концентрическими катушками. Катушечные группы обычно соединяют последовательно (число параллельных ветвей $a=1$), а фазы — в звезду, чтобы избежать замкнутых контуров при включенной в сеть второй обмотке.

Двигатели на три и четыре частоты вращения имеют также две отдельные обмотки. При трех частотах вращения одна обмотка переключается на два разных числа полюсов, а вторая имеет промежу-

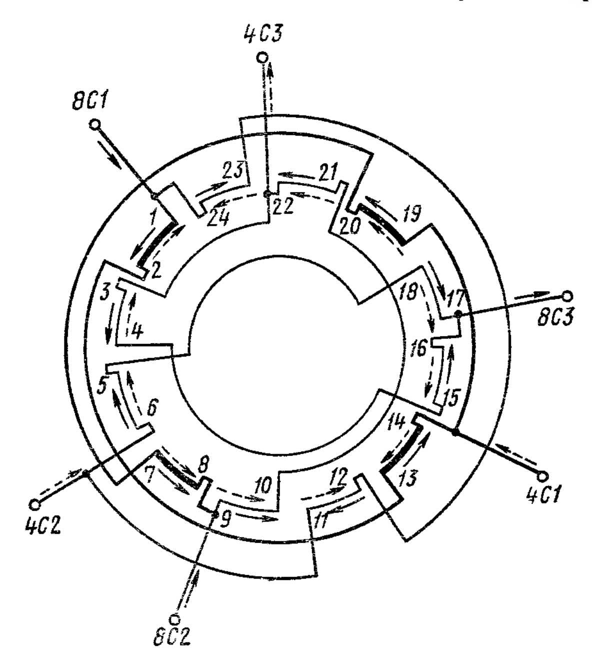


Рис. 51. Торцовая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=8/4$, $a=1$ и соединении фаз Δ/YY

точное число полюсов. У двигателей на четыре частоты вращения каждая из обмоток переключается на два числа полюсов.

На рис. 48—56 приведены наиболее распространенные схемы обмоток статоров многоскоростных двигателей.

При небольших размерах расточки статора и числе полюсов $2p=4/2$ применяют такие двухслойные обмотки (рис. 48, 49), у которых часть катушек укладывается на дно паза, а часть — у клина (в верхнем слое обмотки). Например, у обмотки, схема которой представлена на рис. 48, катушки в пазы 1,2—7,8; 3,4—9,10 и 5,6—11,12 укладывают обеими сторонами на дно паза, а катушки в пазах 21, 22—3, 4; 23, 24—5, 6 и 19, 20—1, 2 — обеими сторонами у клина. Это облегчает укладку обмотки, так как не приходится поднимать

верхние стороны первых катушек при закладке в пазы катушек последнего шага. Остальные катушки укладываются как в обычной двухслойной обмотке.

Двухслойная двухскоростная обмотка изготовляется в виде катушечных групп, укладка которых производится как в обычной двухслойной обмотке. Соединение выводов катушечных групп двухскоростной обмотки может быть также представлено в виде круговой схемы. На рис. 51 и 53 изображены торцовые схемы, соответствующие развернутым схемам, показанным на рис. 50 и 52.

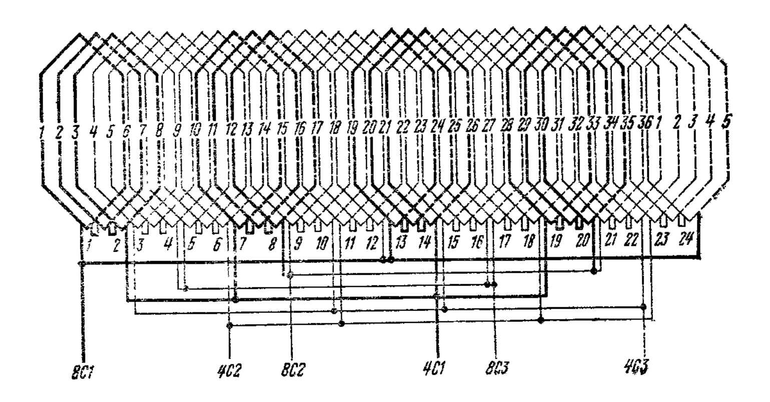


Рис. 52. Развернутая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=8/4$, $z=36$, $a=2$ и соединении фаз Δ/YY

Катушечные группы в двухслойных двухскоростных обмотках в каждой фазе разделяются на две части таким образом, чтобы при подключении на меньшее число полюсов ток в половине катушечных групп изменял направление. При большем числе полюсов направление тока во всех катушечных группах фазы одинаково. На рисунках направление тока в группах показано при подключении на большее число полюсов сплошной стрелкой, при подключении на меньшее число полюсов — пунктирной. Направление тока на схемах в первой и второй фазах принято от начала фазы к концу, в третьей фазе — от конца к началу.

Рассмотрим для примера схему, показанную на рис. 51. Из нее следует, что должны быть соединены между собой выводы катушечных групп: 2—13, 4—15, 10—21, 12—23, 18—5, 20—7. Начала фаз присоединяются к выводам: 8С1—1—24; 8С2—8—9; 8С3—16—17; 4С1—14—19; 4С3—3—22; 4С2—6—11.

При включении схемы на большее число полюсов к сети присоединяются начала фаз 8С1, 8С2 и 8С3. При этом ток в катушечных группах каждой фазы направлен одинаково; в первой и второй фазах — от начала к концу (от нечетной цифры к четной), в третьей — от конца к началу. При включении на меньшее число полюсов ток в половине катушечных групп каждой фазы меняет направление на противоположное (группы: 1—2,3—4, 11—12, 13—14; 15—16; 23—24).

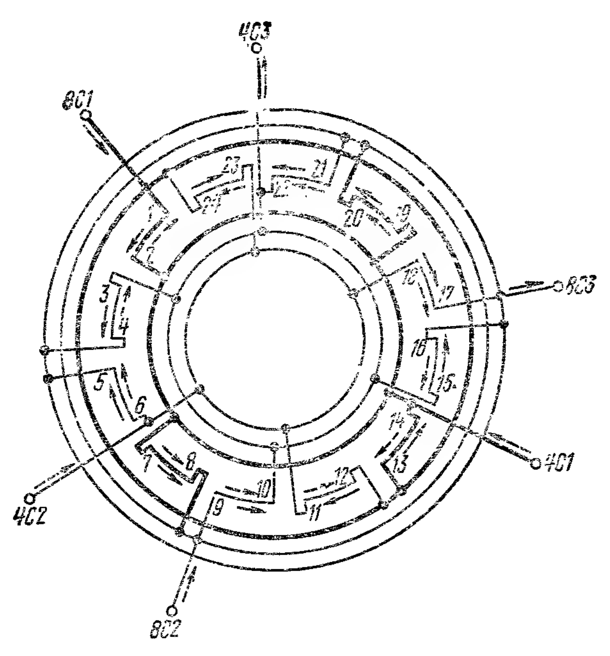


Рис. 53. Торцовая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=8/4$, $a=2$ и соединении фаз Δ/YY

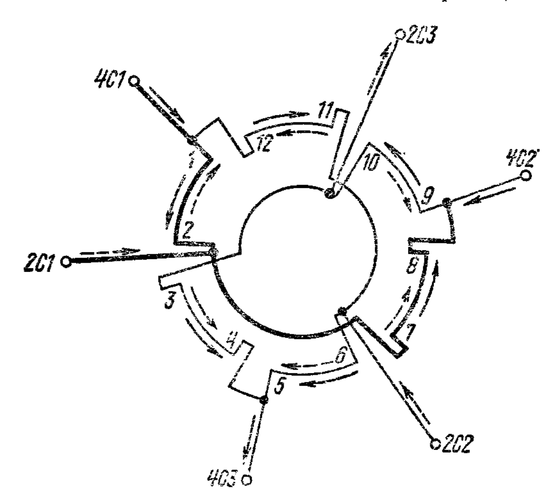


Рис. 54. Торцовая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=4/2$, $a=1$ и соединении фаз Δ/YY

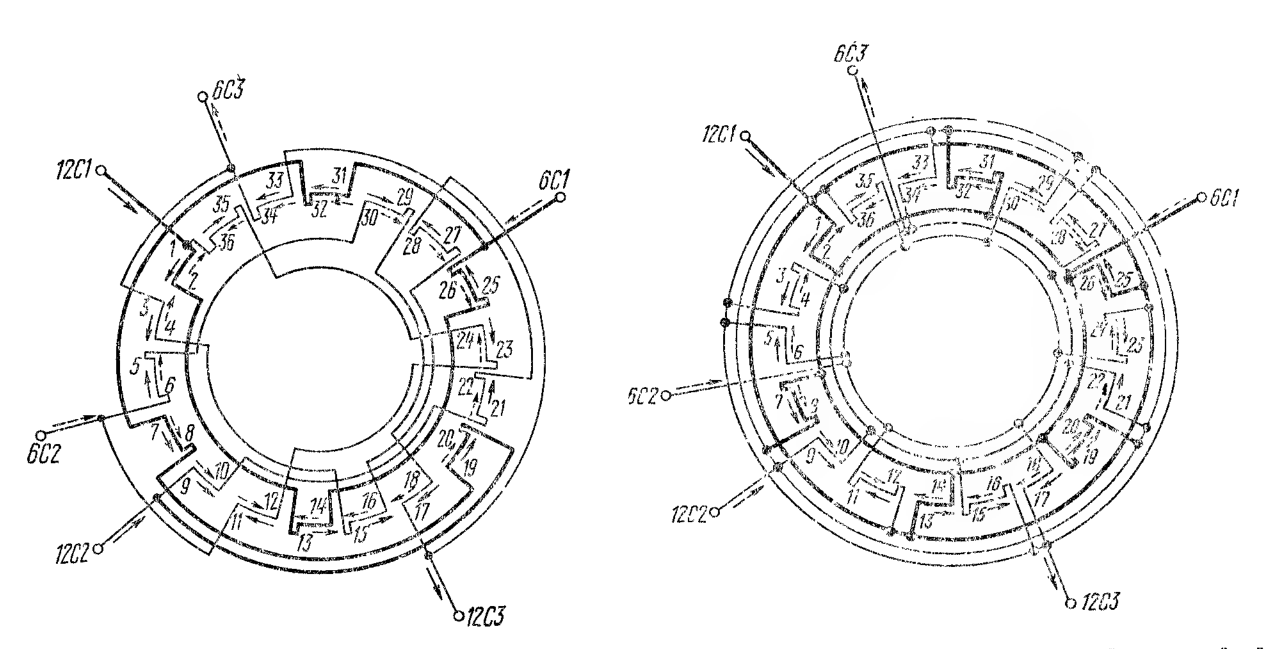


Рис. 55. Торцовая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=12/6$, $a=1$ и соединении фаз Δ/YY

Рис. 56. Торцовая схема двухскоростной двухслойной обмотки при $2p=12/6$, $a=3$ и соединении фаз Δ/YY

У многоскоростного двигателя одновременно к сети подключается одна из обмоток (рис. 57). Если эта обмотка с переключением чисел полюсов и включается на высшую скорость, то остальные выводы от нее при соединении фаз Δ/YY замыкаются накоротко (зажимы

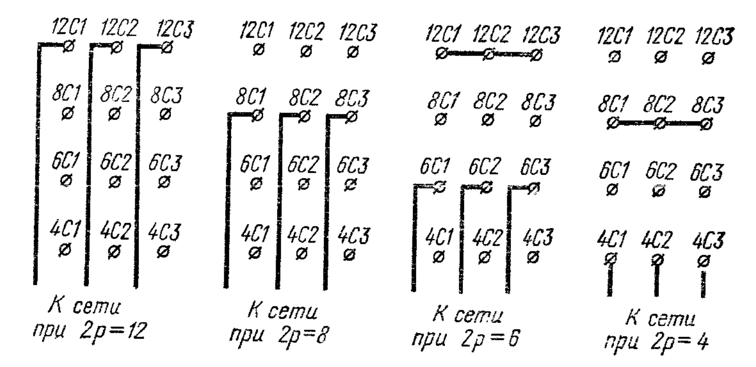


Рис. 57. Схема включения электродвигателей на четыре скорости вращения

12С1, 12С2, 12С3 и 8С1, 8С2, 8С3 при включении соответственно на шесть и четыре полюса). Выводы второй обмотки остаются разомкнутыми.

25. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Однофазные двигатели имеют на статоре две обмотки: рабочую и вспомогательную. Последняя включается только на время пуска и поэтому называется пусковой. Рабочую обмотку называют также главной фазой, а пусковую — вспомогательной. Питание однофазных двигателей осуществляется от однофазной сети.

Широкое распространение имеют однофазные двигатели, у которых постоянно включены две обмотки (две фазы). Такие двигатели по принципу действия относятся к двухфазным, но поскольку их включают в однофазную сеть, а во вспомогательной фазе таких двигателей имеется обычно постоянно включенный конденсатор, то они и называются однофазными конденсаторными двигателями в отличие от однофазных двигателей с пусковой обмоткой.

Роторы однофазных двигателей, в том числе и конденсаторных, выполняют в большинстве случаев короткозамкнутыми.

Пусковая обмотка однофазного двигателя имеет большую плотность тока, включается только на период пуска и по достижении скорости, близкой к номинальной, должна быть отключена. Время нахождения её под током ограничено. Так, например, для микродвигателей единой серии типа АОЛБ, АОЛГ это время во избежание перегрева обмотки не должно превышать 3 с. Частые пуски могут привести к перегреву пусковой обмотки.

Для микродвигателей единой серии допускается три пуска подряд из холодного и один из горячего состоянии при условии соблюдении времени нахождения обмотки при пуске 3 с.

Пусковая обмотка отключается центробежным или кнопочным выключателем, реле максимального тока, биметаллическим тепловым реле и другими устройствами.

Для изменения направления вращения однофазного двигателя надо переключить выводы одной из фаз статора.

В зависимости от вида пускового элемента, включаемого во вспомогательную фазу, различают однофазные двигатели с пусковым сопротивлением (рис. 58, *а*) и с пусковой емкостью (рис. 58, *б*).

Пусковое сопротивление может быть внешним, т. е. расположенным вне обмотки и включенным с нею последовательно, или внесенным. Двигатели с внесенным во вспомогательную обмотку сопротивлением называются также двигателями с повышенным сопротивлением пусковой фазы. В этом случае пусковая обмотка обычно выполняется с бифилярными катушками проводом уменьшенного сечения. Двигатели с пусковой емкостью или внешним сопротивлением называются однофазными двигателями с пусковыми элементами.

Однофазные конденсаторные двигатели имеют или две емкости — пусковую и рабочую (рис. 58, *в*), или только одну — рабочую (рис. 58, *г*). Пусковой конденсатор включается только на период пуска и служит для увеличения пускового момента.

Рис. 58. Схемы однофазных асинхронных двигателей:

а — с пусковым сопротивлением, *б* — с пусковой емкостью, *в* — с пусковой и рабочей емкостями (конденсаторный двигатель), *г* — с рабочей емкостью: *А* — главная обмотка, *В* — вспомогательная обмотка, $R_п$ — пусковое сопротивление, $C_п$ — пусковая емкость, $C_р$ — рабочая емкость

В последние годы выпускаются универсальные асинхронные микродвигатели, предназначенные для работы как от трехфазной, так и от однофазной сети. При включении в трехфазную сеть фазы обмотки двигателя включаются треугольником или звездой в зависимости от номинального напряжения сети. В однофазную сеть двигатели включаются по одной из схем (рис. 59). При таких схемах однофазная сеть должна соответствовать большему номинальному напряжению двигателя. Так, например, если двигатель имеет номи-

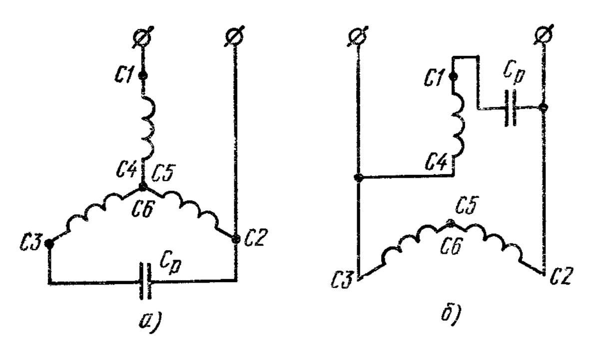


Рис. 59. Схемы включения трехфазной обмотки в однофазную сеть:

а — при соединении обмоток в звезду с параллельно включенной емкостью, *б* — при параллельном соединении главной и вспомогательной обмоток

нальные напряжения 127/220 В, то в однофазном режиме он должен работать при напряжении 220 В.

26. СХЕМЫ ОБМОТОК ОДНОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В однофазных двигателях с пусковой обмоткой главная обмотка обычно занимает $^2/_3$, а вспомогательная — $^1/_3$ общего числа пазов статора. В этих двигателях число пазов на полюс для каждой фазы определяется по формулам:

$$q_A = \frac{z_A}{2p}; \qquad q_B = \frac{z_B}{2p} = 1/2q_A,$$

где q_A — число пазов на полюс главной фазы; q_B — число пазов на полюс вспомогательной фазы; $z_A = {}^2/_3 z$ — число пазов, занимаемых главной фазой; $z_B = {}^1/_3 z$ — число пазов, занимаемых вспомогательной фазой; z — общее число пазов; $2p$ — число полюсов.

В однофазных конденсаторных двигателях пазы статора обычно делят поровну между обеими фазами, т. е. $z_A = z_B$, и число пазов на полюс определяется по формуле

$$q_A = q_B = \frac{z}{4p}.$$

Шаг по пазам для однофазных обмоток определяется так же, как и для трехфазных. Двухслойные обмотки выполняются с укорочением обычно на $^1/_3$ полюсного деления с равными шагами для главной и вспомогательной обмоток. Шаг двухслойной обмотки

$$y_A = y_B \approx 2/3 \frac{z}{2p} = \frac{z}{3p}.$$

Соединение катушечных групп и образование параллельных ветвей в однофазных обмотках производится по тем же правилам, что и для трехфазных обмоток.

При построении схем двигателей с повышенным сопротивлением пусковой фазы надо учитывать наличие в ней бифилярной обмотки.

Для удобства ремонта пусковую обмотку обычно располагают поверх главной (ближе к клину).

Примерный порядок составления схемы однофазной обмотки двигателя с пусковым элементом. Последовательность составления схемы однослойной обмотки разберем на примере

$$2p = 4, \quad z = 24.$$

Сначала находят число пазов, занимаемых главной фазой,

$$z_A = \frac{2}{3} z = \frac{2}{3} \cdot 24 = 16.$$

Число пазов на полюс главной фазы

$$q_A = \frac{z_A}{2p} = \frac{16}{4} = 4.$$

Число пазов на полюс вспомогательной фазы в два раза меньше, чем главной, т. е.

$$q_B = 1/2 \ q_A = \frac{1}{2} \cdot 4 = 2.$$

Далее на чертеже надо представить последовательность чередования пазов главной и вспомогательной фаз (рис. 60, *а*) и проставить направление тока в главной фазе, исходя из правил: под соседними полюсами направление тока меняется на противоположное (рис. 60, *б*). Чтобы на схеме не оказалась разрезанной катушка главной фазы при выполнении наиболее распространенного типа обмотки вразвалку, первую катушечную группу разбивают на две половины (пазы 1,2 и 23,24).

В соответствии с проставленным направлением тока соединяют пазовые части катушек, в результате этого образуются катушечные группы или полугруппы. При этом возможны различные варианты. При диаметральном шаге

$$y = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6\,(1-7),$$

одинаковом для всех катушек, получается простая шаблонная обмотка (рис. 60, *в*), число катушечных групп которой равно числу пар полюсов p. Но такая обмотка почти не применяется ввиду больших размеров лобовых частей. Если разделить каждую катушечную группу на две полугруппы, получим шаблонную обмотку вразвалку (рис. 60, *г*) с меньшим шагом и меньшей длиной витка. Однако из-за большой компактности лобовых частей чаще применяется концентрическая обмотка вразвалку (рис. 60, *д*). При больших значениях q_A используется также концентрическая обмотка, у которой катушечная группа подразделяется на три полугруппы (см. рис. 68). По виду лобовых частей эта обмотка напоминает трехплоскостную трехфазную концентрическую.

Начало фазы может быть в принципе выбрано из любого паза, исходя из удобства выполнения обмотки. Начиная обход всех пазов из первого паза и следя за направлением тока, соединяем катушечные группы (полугруппы) между собой (рис. 60, *е*) и находим ко-

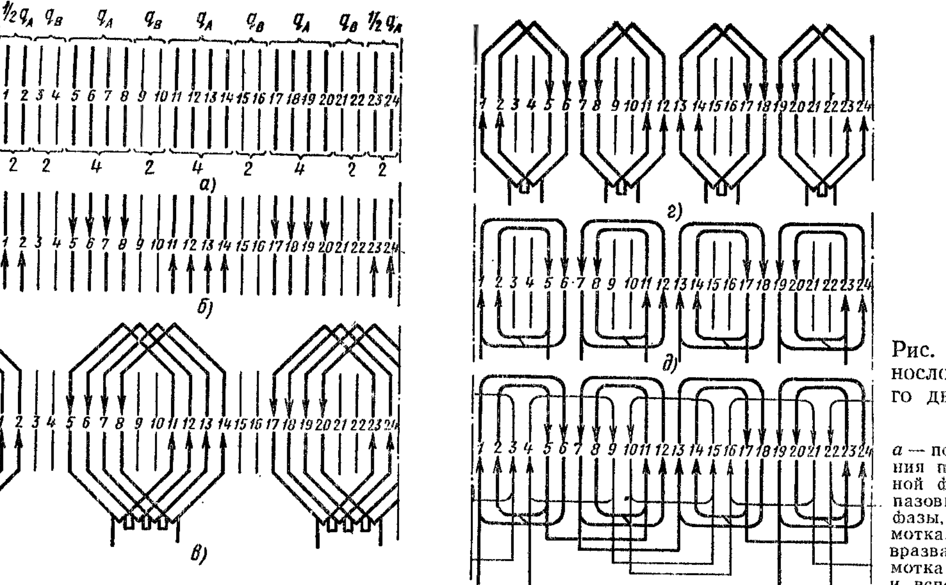


Рис. 60. Построение схемы однослойной обмотки однофазного двигателя с пусковым элементом:

а — последовательность чередования пазов главной и вспомогательной фаз, *б* — направление тока в пазовых частях катушек главной фазы, *в* — простая шаблонная обмотка, *г* — шаблонная обмотка вразвалку, *д* — концентрическая обмотка вразвалку, *е* — схема главной и вспомогательной фаз концентрической обмотки вразвалку

нец фазы, обойдя все пазы рабочей обмотки. Соединение полугрупп производится по правилу: конец полугруппы соединяется с концом соседней полугруппы той же фазы, начало — с началом, т. е. так же, как и в трехфазной однослойной обмотке вразвалку, где катушечная группа разделена на две полугруппы.

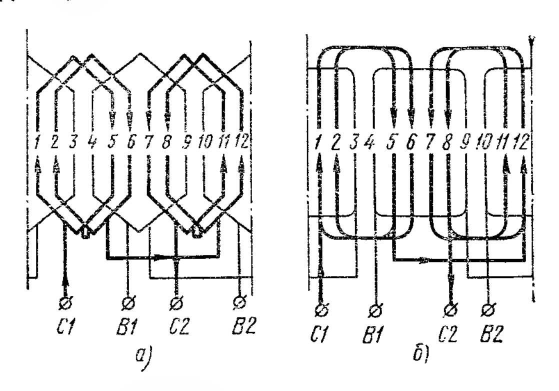


Рис. 61. Однослойные обмотки вразвалку однофазных двигателей при $2p=2$, $z=12$:

а — шаблонная, *б* — концентрическая

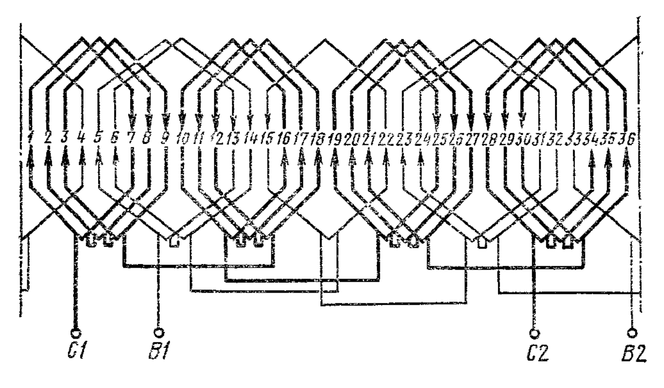


Рис. 62. Однослойная (шаблонная вразвалку) обмотка однофазного двигателя при $2p=4$, $z=36$

Схему вспомогательной фазы выполняют по тем же правилам, только она имеет обычно меньшее число катушек в группе (полугруппе). Шаг ее может быть таким же, как у главной фазы или иным.

Типичные схемы однослойных обмоток двигателей с пусковыми элементами приведены на рис. 61,62.

Схему двухслойной обмотки двигателя с пусковым элементом можно составить в такой последовательности. Сначала определяют шаг

обмотки, число пазов на полюс для главной и вспомогательной фаз q_A и q_B. В соответствии с шагом обмотки и числом катушек в группе, равным q_A, вычерчивается первая катушечная группа главной фазы (рис. 63, 64), рядом с ней катушечная группа вспомогательной фазы, затем опять катушечная группа главной фазы и т. д. Шаги по пазам для обеих фаз берутся одинаковыми. Проставляется направление тока в верхних сторонах катушек главной фазы (под соседними полюсами меняется на противоположное, как и в одно-

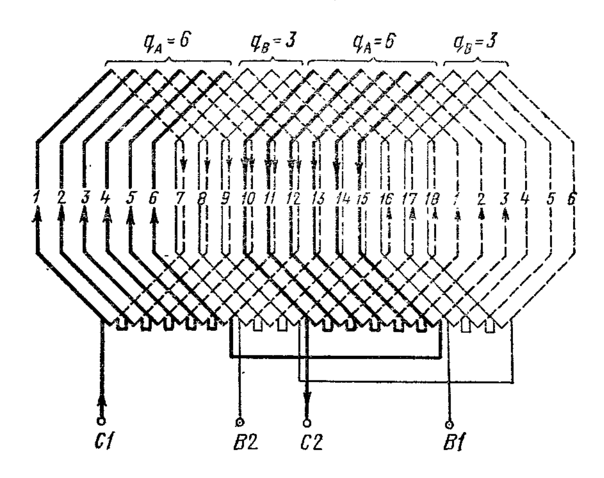


Рис. 63. Двухслойная обмотка однофазного двигателя при $2p=2$, $z=18$, $q_A=6$, $q_B=3$, $y_A=y_B=6(1-7)$

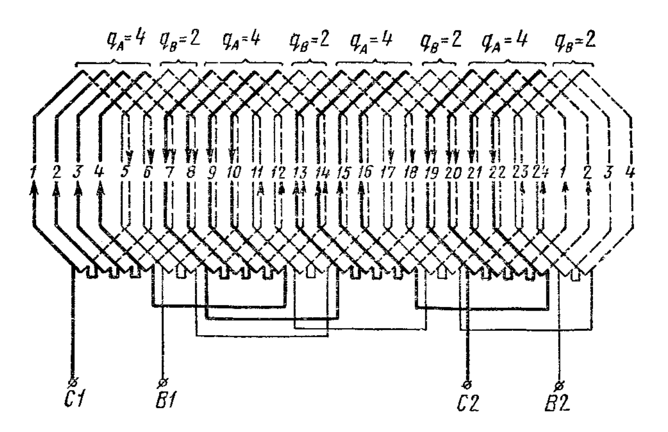


Рис. 64. Двухслойная обмотка однофазного двигателя при $2p=4$, $z=24$, $q_A=4$, $q_B=2$, $y_A=y_B=4(1-5)$

слойной обмотке). Последовательное соеднинение катушечных групп в фазе также выполняется по правилу: конец с концом, начало с началом, при этом не будет нарушена полярность полюсов. Соединения во вспомогательной фазе производятся аналогичным образом.

Примерный порядок составления схемы однофазной однослойной обмотки двигателя с повышенным сопротивлением вспомогательной фазы. Схема главной фазы у двигателя с повышенным сопротивле-

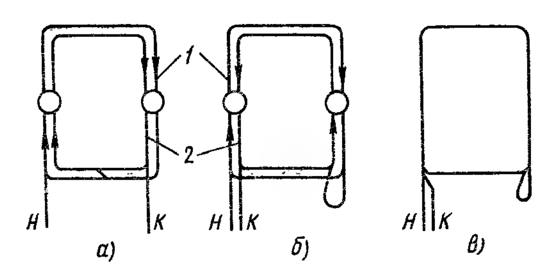


Рис. 65. Выполнение катушкн с бифилярной обмоткой:

а — катушка, разделенная на две секции, *б* — катушка с бифилярной обмоткой, *в* — обозначение катушки с бифилярной обмоткой на схеме; *1* — основная секция, *2* — бифнлярная секция, *Н* и *К* — начало и конец катушки

нием вспомогательной фазы такая же, как н у двигателей с пусковымн элементами.

Прн составленнн схемы вспомогательной фазы надо учитывать, что в каждой катушке часть ее витков намотана встречно. Это уменьшает число эффективных проводников в пазу. Встречно намотанные витки иейтралнзуют действие такого же количества витков, намотанных в основном направленнн, образуя бифилярную обмотку, поэтому для нахождения числа эффектнвных внтков в катушке (эффективных проводников в пазу) надо из общего числа вычесть удвоенное число встречно намотанных витков. Если, например, в пазу лежнт катушка, в которой всего 81 виток, из них встречно намотаны 22, то число эффективных проводников в пазу будет: $81-2\times22=37$.

Для определения чнсла встречно намотанных витков при известных общем числе проводников в пазу и числе эффективных проводников в пазу надо произвести обратное действие, т. е. нз общего числа вычесть число эффектнвных проводннков н полученный результат разделить на два. При общем числе проводников 81 и чнсле эффективных — 37 чнсло встречно намотанных витков должно быть:

$$\frac{81-37}{2}=22.$$

Катушку с бифилярной обмоткой можно получить, если уложить в одни и те же пазы две секции катушки, одна из которых поворачивается иа 180° вокруг параллельной пазам оси. Правая н левая стороны повернутой секции при этом меняются местами (рис. 65). В пазах, где расположена катушка с бифилярной обмоткой, ток

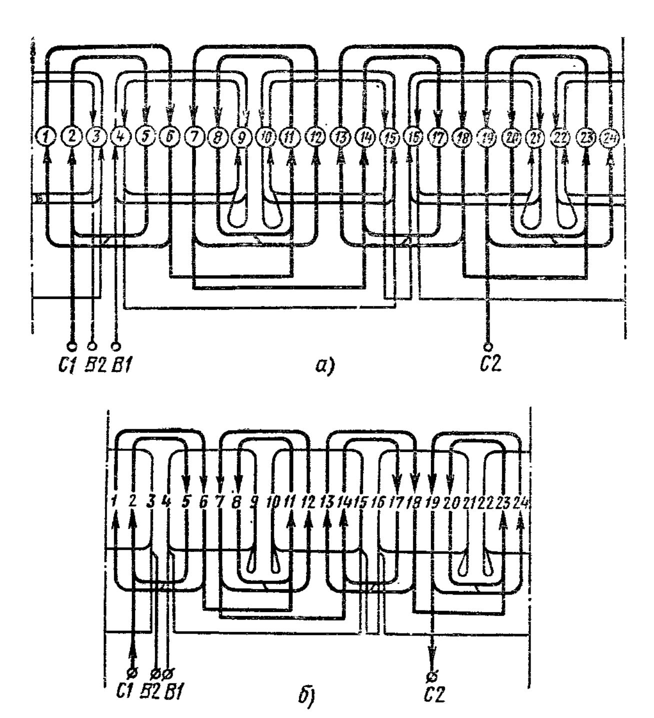


Рис. 66. Однослойная концентрическая вразвалку обмотка при $2p=4$, $z=24$ однофазного двигателя с повышенным сопротивлением вспомогательной обмотки:

а — катушка с бифилярной обмоткой изображена в виде двух секций, *б* — то же, в виде целой катушки

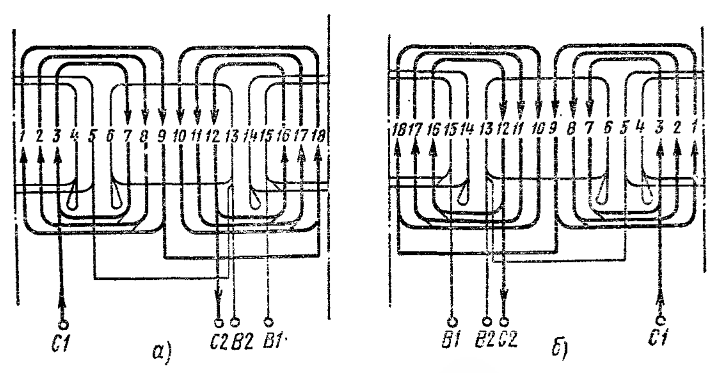


Рис. 67. Однослойная концентрическая вразвалку обмотка при $2p=2$, $z=18$ однофазного двигателя с повышенным сопротивлением вспомогательной фазы:

а — при намотке против часовой стрелки, *б* — при намотке по часовой стрелке

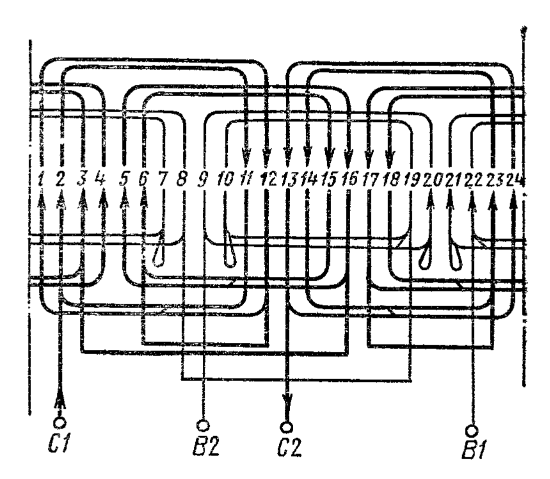


Рис. 68. Однослойная концентрическая с разбивкой катушечной группы на три части обмотка при $2p=2$, $z=24$ однофазного двигателя с повышенным сопротивлением вспомогательной фазы

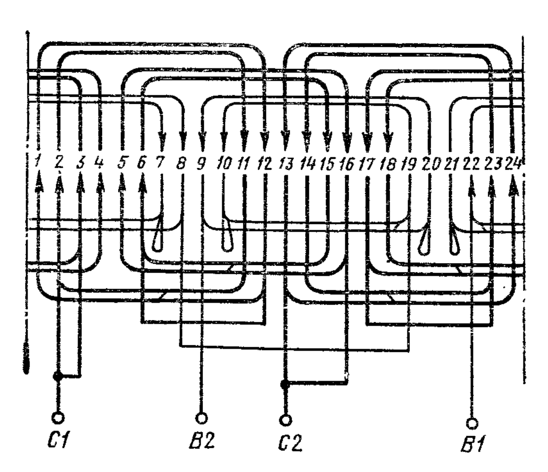


Рис. 69. Однослойная концентрическая с разбивкой катушечной группы на три части обмотка при $2p=2$, $z=24$ однофазного двигателя с повышенным сопротивлением вспомогательной фазы и соединением главной фазы в две параллельные ветви

6

проходит по одной секции в одном направлении, по другой — в противоположном. Полярность полюсов определяется направлением тока в катушке с большим числом витков, поэтому секцию с большим числом витков условно называют основной, а с меньшим — бифилярной.

На рис. 66, *а* представлена схема с бифилярной обмоткой во вспомогательной фазе, бифилярная секция условно показана внутри основной. Обычно катушки с бифилярной обмоткой на схемах изоб-

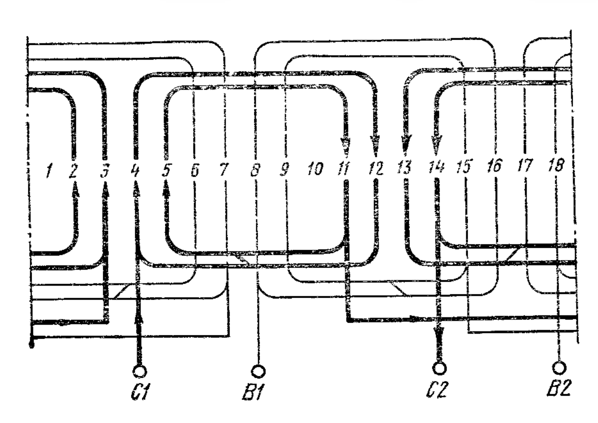


Рис. 70. Однослойная концентрическая обмотка вразвалку однофазного конденсаторного двигателя при $2p=2$, $z=18$

ражаются в виде целой катушки с петлей, в которой изменяется направление тока (рис. 65, *в* и рис. 66, *б*).

Катушки и катушечные группы с бифилярной обмоткой должны быть соединены таким образом, чтобы полярность под соседними полюсами вспомогательной фазы чередовалась; полярность же полюсов определяется направлением тока в основных секциях.

Типичные схемы обмоток двигателей с повышенным сопротивлением вспомогательной фазы приведены на рис. 67—69.

Всякая обмотка может быть намотана либо по часовой стрелке, либо против нее, если смотреть на статор со стороны схемы. Это определяется навыками обмотчика и принятой технологией изготовления. Пример схемы при двух различных направлениях намотки приведен на рис. 67.

Примерный порядок составления схемы обмотки конденсаторного двигателя. Схемы однофазных конденсаторных двигателей строятся так же, как и схемы однофазных с пусковыми элементами, только при этом надо учитывать, что числа пазов на полюс главной и вспомогательной фаз одинаковы и поэтому схемы обеих фаз также получаются одинаковыми.

Типичные схемы однофазных конденсаторных двигателей приведены на рис. 70—76.

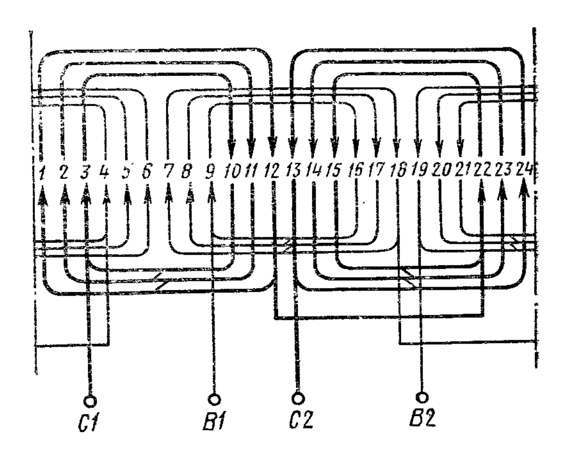


Рис. 71. Однослойная концентрическая обмотка вразвалку однофазного конденсаторного двигателя при $2p=2$, $z=24$

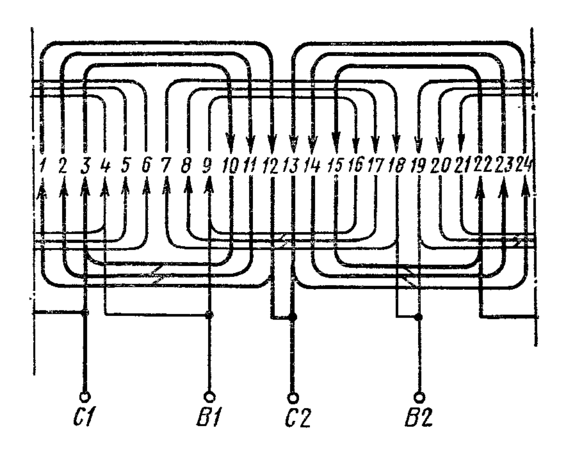


Рис. 72. Однослойная концентрическая обмотка вразвалку однофазного конденсаторного двигателя при $2p=2$, $z=24$ и соединения каждой из фаз в две параллельные ветви

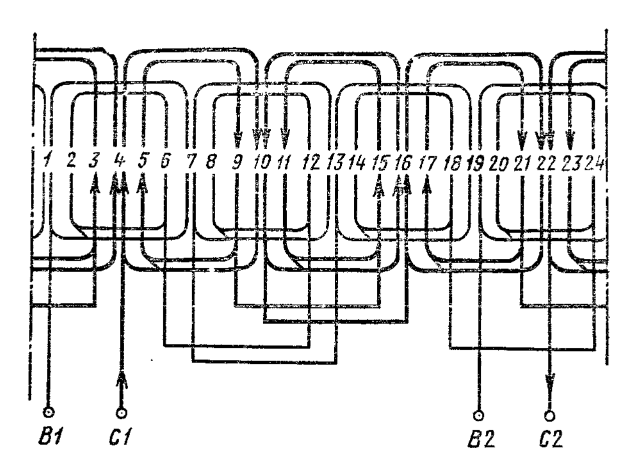


Рис. 73. Однослойная концентрическая обмотка с «расчесанными» катушками однофазного конденсаторного двигателя при $2p=4$, $z=24$

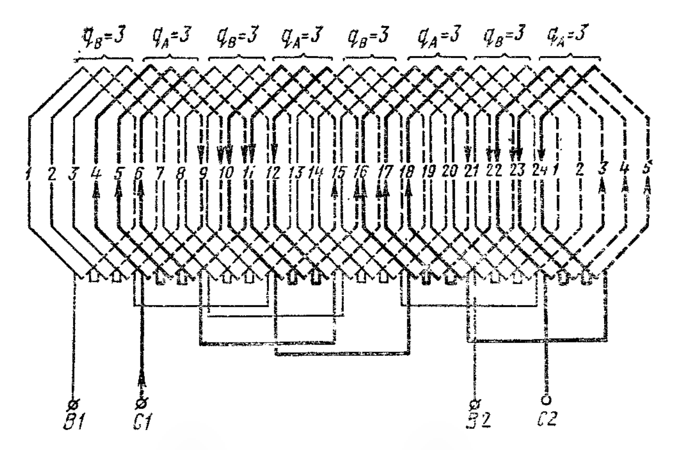


Рис. 74. Двухслойная обмотка однофазного конденсаторного двигателя при $2p=4$, $z=24$, $q_A=q_B=3$, $y_A=y_B=5$(1—6)

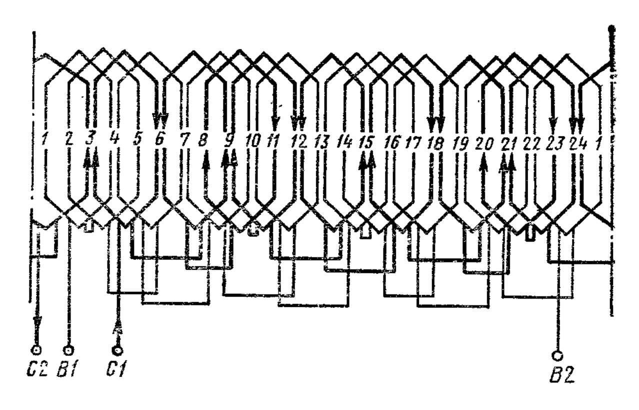


Рис. 75. Однослойная комбинированная обмотка однофазного конденсаторного двигателя при $2p=8$, $z=24$, $q_A=q_B=1\frac{1}{2}$, $y_A=y_B=3(1-4)$

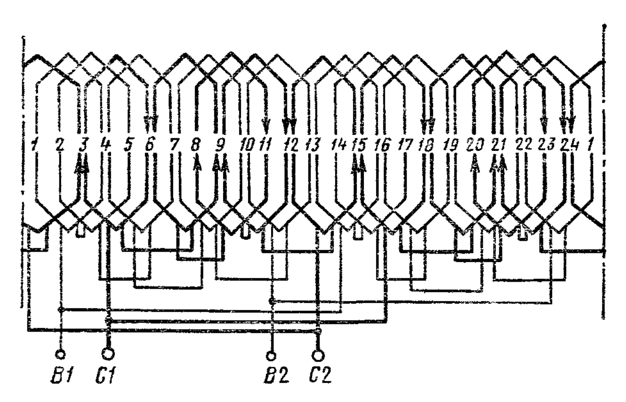


Рис. 76. Однослойная комбинированная обмотка однофазного конденсаторного двигателя при $2p=8$, $z=24$, $q_A=q_B=1\frac{1}{2}$, $y_A=y_B=3(1-4)$ и соединении каждой из фаз в две параллельные ветви

В ряде случаев для конденсаторных двигателей характерно наличие в обеих фазах «расчесанных» катушек с половинным числом витков. На схеме рис. 73 показаны четыре такие катушки.

Обмотка, представленная на рис. 75, 76, из-за дробного числа пазов на полюс имеет признаки шаблонной вразвалку и двухслойной обмоток и поэтому названа комбинированной.

IV. РАСЧЕТЫ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

27. ВЫБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

Фазное напряжение $U_ф$ трехфазной обмотки электрической машины зависит как от номинального напряжения на зажимах, так и от соединения фаз обмотки (табл. 36).

Таблица 36. **Напряжение фаз трехфазной обмотки**

Номинальное напряжение двигателя U, В	$U_ф$, В, при соединении фаз		
	Δ Y	Δ	Y
127/220	127	—	—
220/380	220	—	—
380/660	380	—	—
127	—	127	74
220	—	220	127
380	—	380	220
500	—	500	289
660	—	660	380

Номинальное напряжение, род тока, частота и число фаз, соединение фаз, номинальная мощность, номинальный ток и другие данные наносят на табличку, которую укрепляют при выпуске машины с завода-изготовителя на видном месте ее корпуса.

В трехфазных машинах при соединении фаз Δ/Y указывают через дробь два значения тока: в числителе дроби приводят ток, который протекает в проводах сети при соединении фаз треугольником, в знаменателе — при соединении фаз звездой. Ток в проводах сети при соединении фаз звездой является фазным током. Например, при номинальном токе $I_н = 28{,}6/16{,}5$ А фазный ток $I_ф = 16{,}5$ А. Если фазы соединены треугольником, то фазный ток в 1,73 раза меньше номинального: $I_ф = 0{,}58 I_н$.

Таблица 37. **Шаги двухслойных обмоток статора в асинхронных двигателях**

$2p$	y при числе пазов статора z_1							
	24	36	45	48	54	60	72	75
2	8,9	10—13	—	15—17	—	—	—	—
4	—	7	—	9,10	—	12,13	—	—
6	—	5	6,7	—	7,8	—	9,10	—
8	—	4	—	5	6	6,7	7	—
10	—	—	—	—	—	5	—	6,7

Примечание. Двухслойные обмотки применяют в трехфазных двигателях единых серий при наружном диаметре статора >200—250 мм, при меньших диаметрах обычно используют однослойные обмотки.

Шаг обмотки (табл. 37) в двухслойных обмотках асинхронных двигателей берут укороченным

$$y = \beta \frac{z_1}{2p},$$

где β — укорочение шага, z_1 — число пазов статора, $2p$ — число полюсов.

Для многополюсных обмоток обычно $\beta=0{,}83$, для двухполюсных $\beta=0{,}61$—$0{,}75$ (в отдельных случаях уменьшают до 0,56, чтобы облегчить укладку и уменьшить вылет лобовой части обмотки).

Полюсное деление (см) — часть длины окружности расточки статора, приходящейся на один полюс, находят по формуле

$$\tau = \frac{3{,}14 D_i}{2p},$$

где D_i — внутренний диаметр статора, см.

Полная глубина паза $h_п$ определяется измерением расстояния от внутренней поверхности статора (или наружной поверхности ротора) до дна паза.

Число параллельных ветвей a и число элементарных (параллельных) проводников $n_{эл}$ обмотки статора асинхронного двигателя зависит от его мощности и напряжения. Для предварительного выбора этих чисел можно использовать их зависимость от наружного диаметра $D_а$ статора (табл. 38).

Таблица 38. **Значения a и $n_{эл}$ в сериях асинхронных двигателей**

$2p$	При $D_а$, см									
	до 15		15—20		20—25		25—35		35—50	
	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$
2	1	1	1	1—3	1,2	2—4	2	2—4	2	3—11
4	1	1	1	1,2	1	1—3	1,2	1—3	2,4	2—5
6	1	1	1	1,2	1	1—3	1,2	1—3	2,3	2—5
8	—	—	—	—	—	—	1,2	1—3	2,4	1—3
10	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2—4

Примечания: 1. Большие значения a и $n_{эл}$ выбирают при меньшем напряжеиии и большей длине сердечника.

2 Окончательно значения a и $n_{эл}$ уточняются после выбора диаметра провода и проверки размещения обмотки в пазу.

Обмоточный коэффициент k_w трехфазных однослойных обмоток зависит от числа пазов на полюс и фазу q (табл. 39), двухслойных — также и от шага y (табл. 40).

Большое влияние на степень повреждаемости обмотки при укладке имеет так называемый коэффициент заполнения изолированными проводниками свободной площади паза, определяемый формулой

$$f_п = \frac{nD^2}{F'},$$

где D — диаметр проводника с изоляцией, мм; F' — площадь сечения паза в свету за вычетом пазовой изоляции и клина, мм².

Таблица 39. Обмоточные коэффициенты трехфазных однослойных шестизонных обмоток со сплошной фазной зоной

q	k_w	q	k_w
1	1,000	4	0,958
1,5	0,960	4,5	0,955
2	0,966	5	0,957
2,5	0,957	6	0,957
3	0,960	8	0,956
3,5	0,956	—	—

Таблица 40. Обмоточные коэффициенты трехфазной двухслойной шестизонной обмотки

q	k_w при шаге обмотки по пазам						
	1—3	1—4	1—5	1—6	1—7	1—8	1—9
1	0,866	1,000	0,866	—	—	—	—
$1^1/_2$	—	0,831	0,945	0,945	—	—	—
2	—	—	0,836	0,933	0,966	—	—
$2^1/_4$	—	—	—	0,877	0,941	0,954	0,915
$2^1/_2$	—	—	—	0,827	0,907	0,950	0,950
3	—	—	—	—	0,831	0,902	0,945
$3^1/_2$	—	—	—	—	—	0,831	0,884
4	—	—	—	—	—	—	0,831

Продолжение табл. 40

q	k_w при шаге обмотки по пазам								
	1—10	1—11	1—12	1—13	1—14	1—15	1—16	1—17	1—18
3	0,960	—	—	—	—	—	—	—	—
$3^1/_2$	0,930	0,953	0,953	—	—	—	—	—	—
4	0,885	0,926	0,950	0,958	—	—	—	—	—
$4^1/_2$	0,827	0,877	0,916	0,940	0,954	0,954	—	—	—
5	—	0,829	0,875	0,910	0,935	0,951	0,957	—	—
$5^1/_2$	—	—	0,827	0,869	0,902	0,928	0,945	0,954	0,954
6	—	—	—	0,828	0,866	0,900	0,925	0,942	0,952
8	—	—	—	—	0,719	0,758	0,794	0,828	0,876

Степень повреждаемости изоляции зависит не только от величины коэффициента $f_п$, но также от типа изоляции паза, марки и размеров провода, длины сердечника и других факторов. Оптимальные значения этого коэффициента (табл. 41) обеспечивают хорошую производительность и сохранение изоляции при укладке обмотки.

Таблица 41. **Оптимальные значения коэффициента $f_п$ для всыпных обмоток из медного провода**

Вид пазовой изоляции	Марка провода	Величина $f_П$ при диаметре провода, мм	
		до 1,25	свыше 1,25
Пленкоэлектрокартон, электрокартон с лакотканью	ПЭЛБО	0,68	0,65
	ПЭВ-2	0,72	0,70
Гибкие миканиты, слюдиниты, слюдопласты	ПСД, ПСДК, ПСДТ, ПСДКТ	0,65	0,62
	ПЭТВ, ПЭТ-155	0,70	0,68

Для ускорения расчетов при ремонте обмоток и предварительном выборе диаметра провода часто используют более удобный в этих случаях коэффициент заполнения, определяемый как отношение площади изолированных проводников к площади паза,

$$k_П = 0,785 \frac{nD^2}{F} .$$

Этот коэффициент упрощает расчет, так как при его применении площадь паза определяется без учета изоляции. Величина его (табл. 42) зависит от формы паза и типа обмотки.

Таблица 42. **Величина коэффициента $k_п$**

Обмотка	Паз	$k_П$ при мощности, кВт		
		до 1	1—10	10—100
Однослойная	Трапецеидальный (см. рис. 77, *а*, *б*, *г*)	0,37	0,40	0,43
	Грушевидный (см. рис. 77, *в*)	0,42	0,46	0,50
Двухслойная	Трапецеидальный (рис. 77, *а*, *б*, *г*)	0,36	0,37	0,40
	Грушевидный (см. рис. 77, *в*)	0,37	0,40	0,43

Диаметр провода без изоляции d зависит от размеров машины (табл. 43). Диаметр изолированного провода должен быть меньше

Таблица 43. **Диаметры проводов всыпных обмоток в сериях асинхронных двигателей**

$D_а$, см	До 15	15—25	25—35	35—50
d, мм	0,49—1,25	0,67—1,56	1,0—1,62	1,16—1,95

ширины шлица (прорези) паза на 1,0—1,5 мм. При выборе диаметра провода следует отдавать предпочтение, если есть возможность, тем размерам, которые рекомендованы стандартами для новых разработок (см. табл. 25).

Полное число проводников в пазу определяется по формуле

$$n = n_{эл} N,$$

где N — число эффективных проводников в пазу.

При пересчетах обмоток индекс «ст» присваивается старой обмотке, индекс «нов» — новой (после перемотки): $U_{ст}$, $U_{нов}$, $N_{ст}$, $N_{нов}$ и т. д.

Площади пазов (мм²) определяются по следующим формулам:

1) трапецеидальный паз со скругленной частью под клин (рис. 77, *а*)

$$F_а = 1,57 r_1^2 + 0,5 (h_1 - r_1)(b_1 + b_2),$$

2) трапецеидальный паз (рис. 77, *б*)

$$F_б = 0,5 h_2 (b_1 + b_3) + 0,5 (h_1 - h_2)(b_1 + b_2),$$

3) грушевидный паз (рис. 77, *в*)

$$F_в = 1,57 (r_1^2 + r_2^2) + 0,5 (h_1 - r_1)(b_1 + b_2),$$

4) трапецеидальный паз со скругленной частью под клин и скруглениями на дне паза (рис. 77, *г*)

$$F_г = 1,57 (r_1^2 + r_2^2) + 0,5 (h_1 - r_1)(b_1 + b_2) + r_2 (b_2 - 2r_2).$$

С достаточной для практических расчетов точностью площадь трапецеидального паза (рис. 77, *а*) можно определить по рис. 78—80. Площади пазов (рис. 77, *а*, *б*) можно считать одинаковыми, так как они отличаются только местом под клин.

При пересчетах обмоток в тех случаях, когда известны данные старой обмотки (число проводников в пазу n, диаметр d и марка провода) для проверки размещения новой обмотки в пазу используют соотношение

$$n_{нов} \cdot D_{нов}^2 \leqslant n_{ст} \cdot D_{ст}^2,$$

где $n_{нов}$ и $D_{нов}$ — число проводников в пазу и диаметр изолированного провода новой обмотки, мм; $n_{ст}$ и $D_{ст}$ — то же, для старой обмотки.

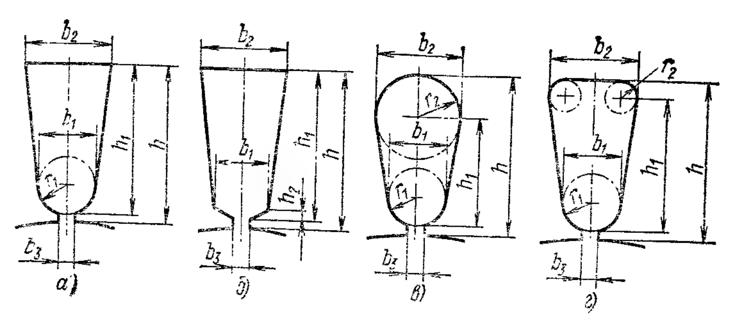


Рис. 77. Формы пазов (*а*, *б*, *в*, *г*) статора для всыпных обмоток

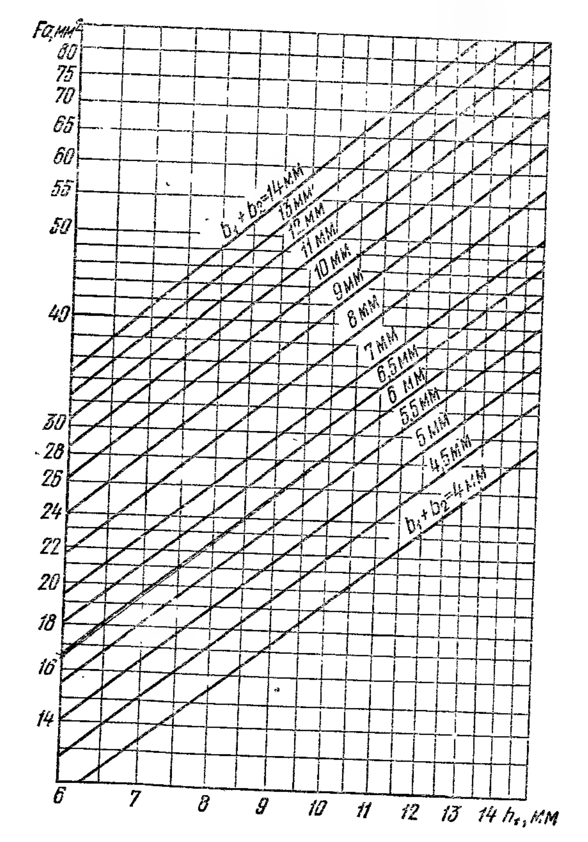


Рис. 78. Площади паза F_a при высоте паза до 14 мм

При сравнении заполнения паза старой и новой обмоткой надо учитывать изменение числа слоев. Когда двухслойная обмотка заменяется однослойной, коэффициент заполнения может быть увеличен; при замене однослойной обмотки двухслойной — уменьшен (см. табл. 42).

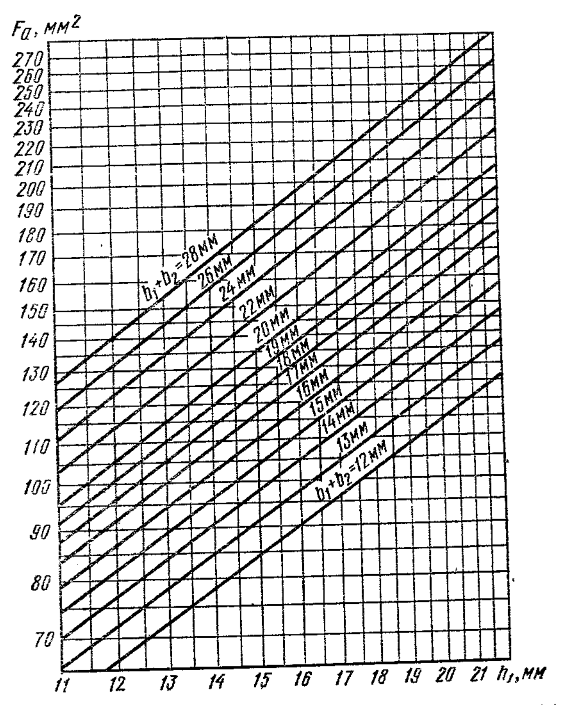


Рис. 79. Площади паза $F_а$ при высоте паза от 14 до 22 мм

Для удобства проверки приведена табл. 44 квадратов диаметров.

Пример. Мощность двигателя 4,5 кВт. Данные старой обмотки: $n_{ст}=51$; $D_{ст}=0{,}86$ мм; данные новой обмотки: $n_{нов}=89$; $D_{нов}=0{,}60$ мм. Однослойная обмотка заменяется двухслойной. Паз грушевидный (рис. 77, *в*). Проверить возможность размещения новой обмотки в пазу.

По табл. 44 находим: $D^2_{ст}=0{,}86^2=0{,}74$ (на пересечении строки 0,8 и графы 0,06); $D^2_{нов}=0{,}36$ (на пересечении строки 0,6 и графы 0,00).

$$n_{ст}\cdot D^2_{ст}=0{,}74\cdot 51=37{,}8;$$

$$n_{нов}\cdot D^2_{нов}=0{,}36\cdot 89=32.$$

Т а б л и ц а 44. **Квадраты чисел**

Целая часть и десятые доли числа	Квадрат числа при сотых долях									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	0,0400	0,0441	0,0484	0,0529	0,0576	0,0625	0,0676	0,0729	0,0784	0,0841
0,3	0,0900	0,0961	0,1024	0,1089	0,1156	0,1225	0,1296	0,1369	0,1444	0,1521
0,4	0,1600	0,1680	0,1760	0,1850	0,1940	0,2020	0,2120	0,2210	0,2300	0,2400
0,5	0,2500	0,2600	0,2700	0,2810	0,2920	0,3020	0,3140	0,3250	0,3360	0,3480
0,6	0,3600	0,3720	0,3840	0,3970	0,4100	0,4220	0,4360	0,4490	0,4620	0,4760
0,7	0,4900	0,5040	0,5180	0,5330	0,5480	0,5620	0,5780	0,5930	0,6080	0,6240
0,8	0,6400	0,6560	0,6720	0,6890	0,7060	0,7220	0,7400	0,7570	0,7740	0,7920
0,9	0,8100	0,8280	0,8460	0,8650	0,8840	0,9020	0,9220	0,9410	0,9600	0,9800
1,0	1,0000	1,0200	1,0400	1,0600	1,0800	1,1000	1,1200	1,1400	1,1700	1,1900
1,1	1,2100	1,2300	1,2500	1,2800	1,3000	1,3200	1,3500	1,3700	1,3900	1,4200
1,2	1,4400	1,4600	1,4900	1,5100	1,5400	1,5600	1,5900	1,6100	1,6400	1,6600
1,3	1,6900	1,7200	1,7400	1,7700	1,8000	1,8200	1,8500	1,8800	1,9000	1,9300
1,4	1,9600	1,9900	2,0200	2,0400	2,0700	2,1000	2,1300	2,1600	2,1900	2,2200
1,5	2,2500	2,2800	2,3100	2,3400	2,3700	2,4000	2,4300	2,4600	2,5000	2,5300
1,6	2,5600	2,5900	2,6200	2,6600	2,6900	2,7200	2,7600	2,7900	2,8200	2,8600
1,7	2,8900	2,9200	2,9600	2,9900	3,0300	3,0600	3,1000	3,1300	3,1700	3,2000
1,8	3,2400	3,2800	3,3100	3,3500	3,3900	3,4200	3,4600	3,9700	3,5300	3,5700
1,9	3,6100	3,6500	3,6900	3,7200	3,7600	3,8000	3,8400	3,8800	3,9200	3,9600
2,0	4,0000	4,0400	4,0800	4,1200	4,1600	4,2000	4,2400	4,2800	4,3300	4,3700
2,1	4,4100	4,4500	4,4900	4,5400	4,5800	4,6200	4,6700	4,7100	4,7500	4,8000
2,2	4,8400	4,8800	4,9200	4,9700	5,0200	5,0600	5,1100	5,1500	5,2000	5,2400
2,3	5,2900	5,3400	5,3800	5,4300	5,4800	5,5200	5,5700	5,6200	5,6600	5,7100
2,4	5,7600	5,8100	5,8600	5,9000	5,9500	6,0000	5,0500	6,1000	6,1500	6,2000
2,5	6,2500	6,3000	6,3500	6,4000	6,4500	6,5000	6,5500	6,6000	6,6600	6,7100
2,6	6,7600	6,8100	6,8000	6,9100	6,9700	7,0200	7,0800	7,1300	7,1800	7,2400
2,7	7,2900	7,3400	7,4000	7,4500	7,5100	7,5600	7,6100	7,6700	7,7300	7,7800

Для грушевидного паза (см. табл. 42) при мощности 4,5 кВт значения коэффициентов заполнения 0,46 для однослойной обмотки и 0,40 для двухслойной.

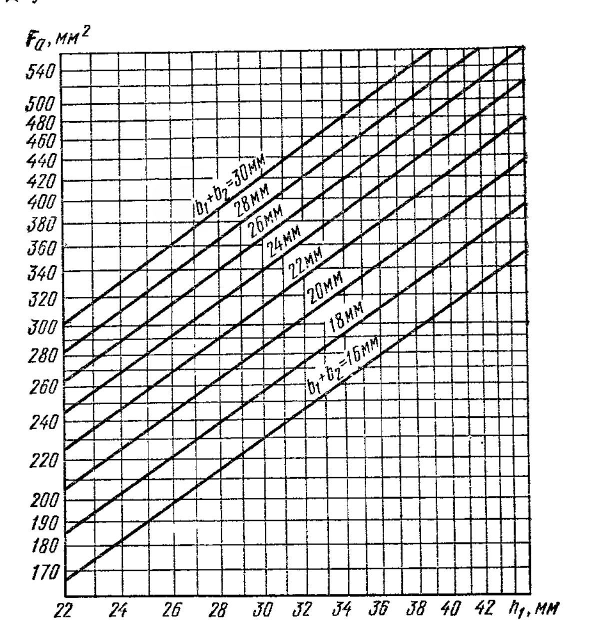


Рис. 80. Площади паза F_a при высоте паза свыше 22 мм

Вносим коррективы в результат вычисления заполнения паза новой обмоткой:

$$32\frac{0,46}{0,40} = 36,8 < 37,8.$$

Обмотка в пазу размещается.

28. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ПОЛЮСОВ ТРЕХФАЗНОЙ ОБМОТКИ СТАТОРА

Число полюсов для двухслойной обмотки при известном шаге

$$2p \approx (0,8 \div 1)\frac{z_1}{y},$$

где z_1 — число пазов статора; y — шаг обмотки статора.

При получении по формуле значения больше двух, но меньше четырех следует принять $2p=2$. Например, при $z_1=36$ и $y=10$

$$2p \approx (0,8 \div 1)\frac{36}{10} \approx 2,9 \div 3,6 \approx 2.$$

Таблица 45. **Число полюсов в зависимости от отношения D_a/D_i**

Число полюсов 2p	D_a/D_i	Число полюсов 2p	D_a/D_i
2	1,70—1,90	6	1,40—1,50
4	1,55—1,65	8,10	1,30—1,40

Примечание. В серийных машинах при одних и тех же диаметрах могут быть различные числа полюсов, например 4 и 6, 6 и 8, 8 и 10.

Таблица 46. **Рекомендуемые числа пазов короткозамкнутых роторов**

2p	z_1	z_2 при пазах	
		прямых	скошенных
Двигатели для обычных условий работы			
2	18	—	26
	24	[16], 32	(18), (30), 31, 33, 34, 35
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23, (24), 37, 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47
	42	32, 34, 50, 52	—
	48	38, 40, 56, 58	59
4	24	[32]	16, [20], 30, 33, 34, 35 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, [32], 45, 48
	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, [38], (51), 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (39), 40, [44], 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76, 81, 83
6	36	26, 42, [48]	47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82, 84, 86, 88	57, 59, 60, 61 83, 85, 87
	90	74, 76, 78, 80, 100, 102, 104	75, 77, 79, 101, 103, 105
8	48	34, 62, [64]	35, 61, 63, 65
	72	58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	84	66, (68), 70, 98, 100, 102, 104	(68), (69), (71), (97), (99), (101)
	96	78, 82, 110, 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113

7 — 827

2 p	z_1	z_2 при пазах	
		прямых	скошенных
10	60 90 120	44, 46, 74, 76 68, 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114 86, 88, 92, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 134, 138, 140, 142, 144, 146	57, 63, 77, 78, 79 70, 71, 73, 87, 93,107, 109 99, 101, 108, 117, 123, 137, 139
12	72 90 108 144	56, 64, 80, 88 68, 70, 74, 82, 98, 106, 110 86, 88, 92, 100, 116, 124, 128, 130, 132 124, 128, 136, 152, 160, 164, 166, 168, 170, 172	69, 75, 80, 89, 91, 92 (71), (73), 86, 87, 93, 94, (107) 84, 89, 91, 104, 105, 111, 112, 125, 127 125, 127, 141, 147, 161, 163

Двигатели для практически бесшумной работы

2	24 30	— —	16, (12), (30), (32) (18), 20, 22, (24), (36), 38, 40
4	36 48	— —	(24), 26, 28, 44, 46, (48) (34), 36, 38, 40, 55, 58, 60, 62, 64
6	54 72	— —	42, 44, 64, 66, 68 56, 58, 60, 62, 82, 84, 86, 88, 90
8	72 96	— —	58, 86, 88, 90 78, 80, 82, 110, 112, 114

Примечания: 1. Числа пазов, заключенные в круглые скобки, дают ухудшенные пусковые характеристики.

2. Числа пазов, заключенные в квадратные скобки, не следует применять для машин, работающих в режиме тормоза.

3. В сериях машин с целью унификации и по другим причинам применяют при данном числе полюсов и другие числа пазов статоров и роторов (см. табл. 99, 103).

Число полюсов для однослойной или двухслойной обмотки при известном числе q

$$2p = \frac{z_1}{3q},$$

где q — число пазов на полюс и фазу.

В однослойных концентрических и шаблонных обмотках, где катушки расположены одна внутри другой, число q можно легко определить по лобовым частям.

Рассмотрим, например, рис. 12 и 17. В этих обмотках выделяем катушечную группу или полугруппу. На рис. 12 группа расположена в пазах 1,2 и 7,8, на рис. 17 (обмотка вразвалку) полугруппа занимает пазы 1,2 и 11,12. Группа (полугруппа) охватывает две фазы, т. е. число пазов $2q$. На рис. 12—это пазы 3, 4, 5, 6, т. е. $2q=4$, и, следовательно, $q=2$, а на рис. 17 — пазы 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, т. е. $2q=8$ и $q=4$.

Если невозможно по оставшейся обмотке определить q и y, то число полюсов можно предварительно найти по отношению наружного диаметра D_a статора к его внутреннему диаметру D_i (табл. 45), а затем проверить по величине индукции в спинке статора и в зубцах.

Правильность выбора числа полюсов в сомнительных случаях следует проверить по соотношению чисел пазов ротора и статора (табл. 46).

29. РАСЧЕТ ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ СТАТОРА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВСЫПНОЙ ОБМОТКОЙ *

Полюсное деление (см)

$$\tau = \frac{3,14}{2p} D_i.$$

Площадь полюсного деления (см²) $Q_\delta = \tau l$.

Число последовательно соединенных витков в фазе обмотки и при напряжении $U_ф = 127$ В находим по рис. 81. Если напряжение $U_ф \neq 127$ В, то найденное число витков пересчитываем по формуле

$$w' = w \frac{U_ф}{127}.$$

Окончательное число витков уточняется после определения числа проводников в пазу и проверки величин индукций в воздушном зазоре, спинке статора и зубцах (табл. 47).

Высота спинки статора (см)

$$h_с = 0,5\,(D_a - D_i - 2h_п),$$

где $h_п$ — глубина паза, см.

Число эффективных проводников в пазу

$$N = 6 \frac{w'a}{z_1}.$$

* Подробнее см.: Жерве Г. К. Расчет асинхронного двигателя при перемотке. — М.: Энергия, 1967; Маршак Е. Л. Ремонт всыпных обмоток асинхронных двигателей. — М.: Энергия, 1975.

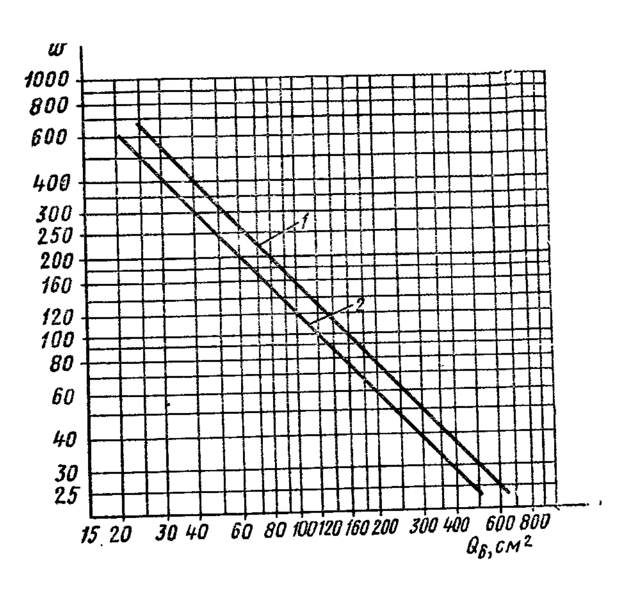


Рис. 81. Число последовательно соединенных витков в фазе w в зависимости от площади полюсного деления Q_δ при напряжении $U_ф = 127$ В:

1 — при $2p=2$, 2 — при $2p>2$

Таблица 47. Значения индукций в нормальных асинхронных машинах

$2p$	B_δ Т, при τ, см			B_c, Т	B_z^{***}, Т
	3—6	6—11	12—30*		
2	—	0,45—0,50	0,65—0,70	1,2—1,7	1,3—1,7
4	0,55—0,65	—	0,70—0,75	1,0—1,5**	
6 и более	—	—	0,71—0,77		

* Для закрытых обдуваемых машин значения должны быть уменьшены на 10%.

** Индукция может быть меньше указанных значений при унификации штампов для разных чисел полюсов, например для $2p=4$ и 6; 6 и 8 и т. д.

*** Для трапецеидальных и грушевидных пазов.

Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{z_1}{2pm}.$$

Индукция в воздушном зазоре (Т)

$$B_\delta = 64\,\frac{k_E\,U_ф}{k_w\,Q_\delta\,w'},$$

где k_E — отношенне эдс к напряжению (табл. 48).

Таблица 48. **Значения k_E в зависимости от площади полюсного делеиия**

Q_δ, см²	15—50	50—100	100—150	150—400	Свыше 400
k_E	0,75—0,86	0,86—0,90	0,90—0,93	0,93—0,95	0,96—0,97

Индукция в спнике статора (Т)

$$B_c = 0,36 B_\delta \frac{\tau}{h_c}.$$

Пазовое деленне (см)

$$t = \frac{3,14 D_i}{z_1}.$$

Индукция в зубцах (Т)

$$B_z = B_\delta \frac{t}{0,93 b_z},$$

где b_z — мнинмальная толщнна зубца, см.

Диаметр провода с изоляцней (мм)

$$D = \sqrt{\frac{k_п F}{0,785\,n}}.$$

Диаметр изолированного провода в аснихронных машинах мощностью 0,6 кВт и выше обычно бывает меньше шнрины шлица (прорези) паза на 1,5—2 мм.

При коэффициенте заполнения паза $k_п = 0,4$ диаметр изолированного провода можно определить, не прнбегая к вычисленням, по рис. 82, 83. При других значениях $k_п$ полученное значение надо умножить на коэффициент k (табл. 49).

Таблица 49. **Величина коэффициента k**

$k_п$	0,36	0,37	0,4	0,43	0,46	0,50
k	0,95	0,96	1,0	1,04	1,08	1,12

Пример. Определить диаметр изолированного провода при $F = 170$ мм², $n = 82$ и $k_п = 0,36$.

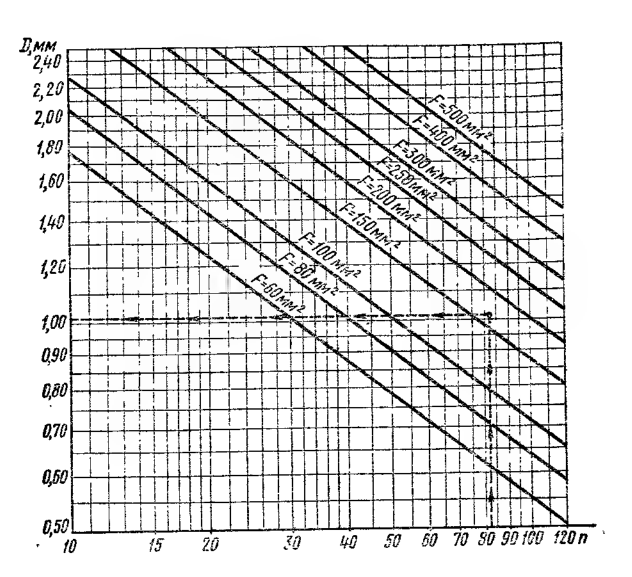


Рис. 82. Определение диаметра изолированного провода D при $k_п=0{,}4$ и числе проводников в пазу $n=$ $=10-120$

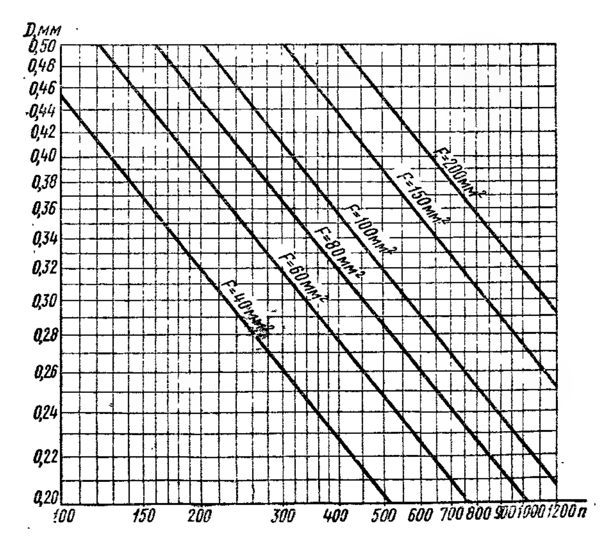


Рис. 83. Определение диаметра изолированного провода D при $k_п=0{,}4$ и числе проводников в пазу $n=$ $=120-1200$

По рис. 82 находим при $k_п=0,4$ диаметр $D=1,02$ мм, по табл. 49 — $k=0,95$. При $k_п=0,36$: $D'=0,95 \cdot 1,02=0,97$ мм.

Диаметр провода без изоляции определяется в зависимости от марки провода.

Фазный ток обмотки статора (А)

$$I_ф = jS_{эл}\, n_{эл}\, a,$$

где j — плотность тока, А/мм²* (табл. 50).

Таблица 50. **Ориентировочные значения плотностей тока в асинхронных двигателях**

D_a, см	Плотность тока j, А/мм², в двигателях	
	защищенных	закрытых обдуваемых
130—300	6,5—5,5	6,0—4,5
300—500	5,5—4,5	4,5—3,5

Номинальная мощность для микродвигателей (до 600—1000 Вт):

а) полная мощность (В·А)

$$P' = 3U_ф\, I_ф;$$

б) номинальная мощность (Вт)

$$P_н = P'\, \eta \cos \varphi,$$

где $\eta \cos \varphi$ — энергетический кпд** (табл. 51).

Таблица 51. **Энергетический кпд микродвигателей с короткозамкнутым ротором**

$2p$	$\eta \cos \varphi$ при полной мощности P', В·А	
	150—400	400—1000
2	0,4—0,6	0,6—0,7
4	0,3—0,5	0,5—0,6

Номинальная мощность для малых и средних двигателей (до 100 кВт) при числе полюсов $2p=2$ определяется по рис. 84; при $2p=4$ полученное значение надо уменьшить на 6—8%, при $2p=6,8$ — на 5—15% (больший процент для двигателей меньшей мощности).

Пример. Определить обмоточные данные статора: $U=220/380$ В; $z_1=54$; $z_2=64$; $m=3$; $D_a=29,1$ см; $D_i=20,6$ см; $l=15$ см. Паз грушевидный — см. рис. 77, *в*. Размеры паза: $h=h_п=25,9$ мм; $h_1=20,4$ мм; $b_2=9$ мм; $b_1=7$ мм; $r_2=4,5$ мм; $r_1=3,5$ мм; $b_z=5,5$ мм. Число полюсов неизвестно. Двигатель закрытый обдуваемый.

* В Международной системе единиц (СИ) плотность тока выражается в А/м²:1 А/мм$=10^6$ А/м².

** Энергетическим кпд называют произведение кпд на коэффициент мощности.

Число полюсов находят, исходя из отношения

$$D_a/D_i = \frac{29,1}{20,6} = 1,41.$$

Значение 1,41 по табл. 45 наиболее близко к числу полюсов $2p=6$, а по табл. 46 проверяем, что $z_2=64$ допустимо при $z_1=54$ и $2p=6$. Эта машина может быть использована и при $2p=8$, так как отношение $D_a/D_i=1,41$ близко к 1,40, которое соответствует $2p=8,10$, а в единой серии А2, АО2 применяются при $2p=8$ числа пазов $z_1=54$ и

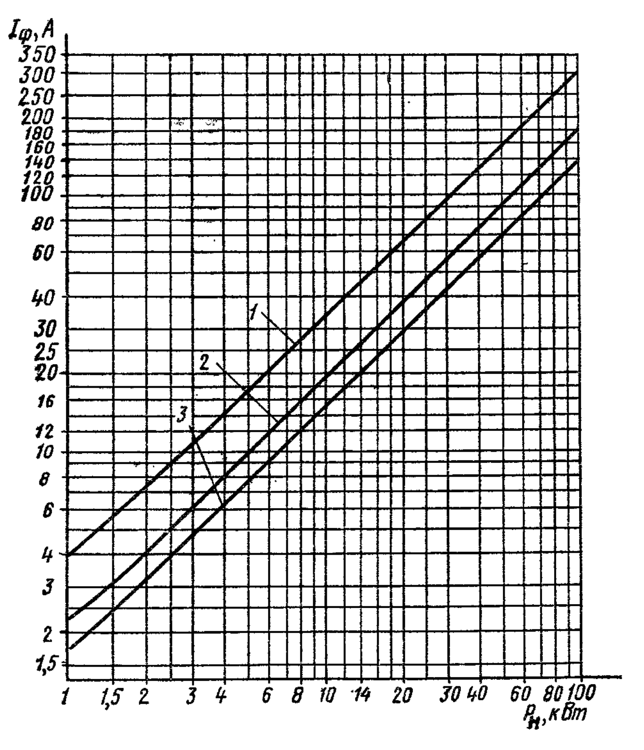


Рис. 84. Зависимость мощности P от тока фазы $I_ф$ при числе полюсов $2p=2$ и напряжении $U_ф$:

1 — 127 В, *2* — 220 В, *3* — 289 В (фазное напряжение при напряжении сети 500 В и соединении фаз обмотки звездой)

$z_2=64$ (см. табл. 103). Однако при этом могут быть ухудшены некоторые характеристики двигателя.

Ведем расчет при $2p=6$.

Полюсное деление

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 20,6}{6} = 10,8 \text{ см}.$$

Площадь полюсного деления

$$Q_\delta = 10{,}8 \cdot 15 = 162 \text{ см}^2.$$

Число последовательно соединенных витков при напряжении $U_ф = 127$ В: $w = 76$ (по рис. 81).

Число витков при $U_ф = 220$ В:

$$w' = 76 \cdot \frac{220}{127} = 132.$$

Высота спинки статора

$$h_c = 0{,}5\,(29{,}1 - 20{,}6 - 2 \cdot 2{,}59) = 1{,}66 \text{ см}.$$

Число эффективных проводников в пазу

$$N = 6\,\frac{132 \cdot 2}{54} = 29{,}3 \approx 30,$$

где $a = 2$ (по табл. 38).

Число последовательных витков при $N = 30$

$$w' = \frac{N z_1}{6a} = \frac{30 \cdot 54}{6 \cdot 2} = 135.$$

Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{54}{6 \cdot 3} = 3.$$

Шаг обмотки и обмоточный коэффициент находят, исходя из типа обмотки и числа полюсов.

Так как диаметр $D_a > 250$ мм, выбираем двухслойную обмотку с шагом $y = 7$ (1—8) (по табл. 37).

$$k_w = 0{,}902 \text{ (по табл. 40)}.$$

Индукция в воздушном зазоре

$$B_\delta = 64\,\frac{0{,}93 \cdot 220}{0{,}902 \cdot 162 \cdot 135} = 0{,}664\text{Т}.$$

Индукция в спинке статора

$$B_c = 0{,}36 \cdot 0{,}664 \cdot \frac{10{,}8}{1{,}66} = 1{,}55\text{Т}.$$

Пазовое деление

$$t = \frac{3{,}14 \cdot 20{,}6}{54} = 1{,}2 \text{ см}.$$

Индукция в зубцах

$$B_z = 0{,}664\,\frac{1{,}2}{0{,}93 \cdot 0{,}55} = 1{,}56\text{Т}.$$

Сравнивая величины индукций с допустимыми значениями, находим, что индукция в спинке статора несколько завышена. Чтобы ее уменьшить, увеличиваем число проводников в пазу. Верхнее пре-

дельно допустимое значение $B_c=1,5$ Т берем $B_c=1,4$ Т, чтобы был некоторый запас.

$$N' = N\frac{B_c}{1,4} = 30\frac{1,55}{1,4} = 33,2 \approx 34.$$

Площадь паза

$$F = 1,57\,(3,5^2 + 4,5^2) + 0,5\,(20,4 - 3,5)\,(7 + 9) = 186 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент заполнения $k_п=0,4$ (по табл. 42); мощность ≈ ≈10 кВт определяем по размерам сердечника и таблицам обмоточных данных.

Диаметр провода с изоляцией $D=1,64$ мм (по рис. 82) при $n=34$ (принимаем $n_{эл}=1$).

Диаметр провода для марки ПЭТВ без изоляции выбираем по табл. 24: $d=1,56$ мм.

Сечение провода $S_{эл}=1,91$ мм² (по табл. 22).

Фазный ток обмотки статора

$$I_ф = 5,2\cdot 1,91\cdot 1\cdot 2 \approx 19,9 \text{ А},$$

где 5,2 А/мм² — плотность тока j по табл. 50.

Номинальная мощность

$$P'_н = 0,9\cdot 11 \approx 10 \text{ кВт},$$

где $P_н=11$ кВт (по рис. 84).

30. ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТКИ СТАТОРА НА ДРУГОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Число эффективных проводников в пазу

$$N_{нов} = N_{ст}\frac{U_{нов}}{U_{ст}}\cdot\frac{a_{нов}}{a_{ст}},$$

где $U_{ст}$ и $U_{нов}$ — фазные напряжения, В; $a_{ст}$ и $a_{нов}$ — числа параллельных ветвей.

Когда число проводников в пазу большое (не менее 25), полученное значение $N_{нов}$ можно округлить до целого числа, так как при этом погрешность будет невелика (не превысит 2,5%). При меньшем числе дробное значение можно превратить в целое (или близкое к нему) путем изменения числа параллельных ветвей новой обмотки. В двухслойной обмотке при нечетном числе проводников в пазу необходимо изготовить разновитковые катушки.

Если $a_{нов}=a_{ст}$, новое число эффективных проводников в пазу можно определить по рис. 85. Например, при фазном напряжении 220 В число проводников равно 25. На вертикали 220 В находим точку 25, проводим от нее вправо и влево горизонтальную линию и находим число проводников при других напряжениях: 14,5 при 127 В, 33 при 289 В, 43 при 380 В.

Диаметр провода без изоляции при $a_{нов}n_{эл.нов}=a_{ст}n_{эл.ст}$ определяем по рис. 86. Например, при $U_{ст}=380$ В диаметр провода $d=$ $=1,25$ мм. Проведя от найденной точки 1,25 мм на вертикали 380 В

горизонтальную линию, находим диаметры при других стандартных напряжениях: 2,16 мм при 127 В; 1,65 мм при 220 В, 1,43 мм при 289 В. Полученные результаты округляют до ближайших стандартных значений диаметров.

При $a_{нов} \cdot n_{эл.нов} \neq a_{ст} \cdot n_{эл.ст}$ полученный по рис. 86 диаметр (до округления) умножают на коэффициент k_d (табл. 52). Например, по рис. 86 найден диаметр $d=2,16$ мм. В старой обмотке произведение $a_{ст} \cdot n_{эл.ст}=2 \cdot 2=4$, в новой обмотке выбрано $a_{нов} \cdot n_{эл.нов}=$

Рис. 85. Диаграмма для определения числа эффективных проводников в пазу при $a_{нов}=a_{ст}$

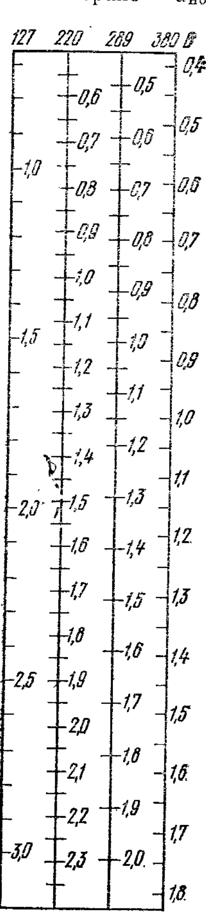


Рис. 86. Диаграмма для определения диаметра провода без изоляции при $a_{нов} \cdot n_{эл.нов} = a_{ст} \cdot n_{эл.ст}$

Таблица 52. **Значения коэффициента k_d**

Произведение $a_{нов} \times$ $\times n_{эл.нов}$	k_d при произведении $a_{ст} \cdot n_{эл.ст}$													
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	18	20
1	1	1,41	1,73	2,00	2,24	2,45	2,83	3,0	—	—	—	—	—	—
2	0,71	1,00	1,22	1,41	1,58	1,73	2,00	2,12	2,24	2,45	2,74	2,83	3,00	—
3	0,58	0,82	1,00	1,16	1,29	1,41	1,64	1,73	1,83	2,00	2,24	2,31	2,45	2,58
4	0,50	0,71	0,87	1,00	1,12	1,23	1,41	1,5	1,58	1,73	1,94	2,00	2,12	2,24
5	0,45	0,63	0,78	0,90	1,00	1,1	1,27	1,34	1,41	1,55	1,73	1,79	1,90	2,00
6	0,41	0,58	0,71	0,82	0,91	1,00	1,16	1,22	1,29	1,41	1,58	1,63	1,73	1,83
8	—	0,50	0,61	0,71	0,79	0,87	1,00	1,06	1,12	1,22	1,37	1,41	1,50	1,58
9	—	0,47	0,58	0,67	0,75	0,82	0,94	1,00	1,05	1,16	1,29	1,33	1,41	1,49
10	—	—	0,55	0,63	0,71	0,78	0,90	0,95	1,00	1,1	1,22	1,27	1,34	1,41
12	—	—	0,50	0,58	0,65	0,71	0,82	0,87	0,91	1,00	1,12	1,16	1,22	1,29
15	—	—	—	0,52	0,58	0,65	0,73	0,78	0,82	0,90	1,00	1,03	1,1	1,16
16	—	—	—	0,50	0,56	0,61	0,71	0,75	0,79	0,87	0,97	1,00	1,06	1,12
18	—	—	—	—	0,53	0,58	0,67	0,71	0,75	0,82	0,91	0,94	1,00	1,05
20	—	—	—	—	0,50	0,55	0,63	0,67	0,71	0,78	0,87	0,90	0,95	1,00

$=5\cdot2=10$. На пересечении графы 4 и строки 10 находим $k_d=0,63$. Новый диаметр будет равен $d'=2,16\cdot0,63=1,36$ мм.

Проверка размещения в пазу новой обмотки

$$n_{\text{нов}} D^2_{\text{нов}} \leqslant n_{\text{ст}} D^2_{\text{ст}}.$$

31. ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТКИ СТАТОРА НА ДРУГУЮ ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ

Для изменения частоты вращения двигателя необходимо изменить число полюсов обмотки статора $p_{\text{ст}}$ на $p_{\text{нов}}$ и шаг обмотки. При фазном роторе следует соответственно изменить число полюсов и в его обмотке, короткозамкнутые роторы остаются без изменений.

Иногда наблюдается, что двигатель с короткозамкнутым ротором, перемотанный на новое число полюсов, работает плохо: застревает во время пуска, издает ненормальный гул при работе и т. д. Это может произойти при неблагоприятном сочетании пазов статора и ротора. Поэтому перед перемоткой надо проверить возможность переделки двигателя на новое число полюсов по табл. 46.

Шаг обмотки для нового числа полюсов определяют по табл. 37.

Число эффективных проводников в пазу

$$N_{\text{нов}} = N_{\text{ст}} \frac{p_{\text{нов}}}{p_{\text{ст}}} \frac{k_{w\text{ст}}}{k_{w\text{нов}}} \frac{a_{\text{нов}}}{a_{\text{ст}}},$$

где $k_{w\,\text{нов}}$ и $k_{w\,\text{ст}}$ находят по табл. 39, 40.

При пересчете на более высокую частоту вращения необходимо проверить величину индукции в спинке статора (см. табл. 47).

Диаметр провода без изоляции

$$d_{\text{нов}} = d_{\text{ст}} \sqrt{\frac{n_{\text{ст}}}{n_{\text{нов}}}},$$

где $n_{\text{ст}}=N_{\text{ст}}n_{\text{эл.ст}}$ и $n_{\text{нов}}=N_{\text{нов}}n_{\text{эл.нов}}$.

Если диаметр провода получается неприемлемым, то следует изменить число параллельных проводников $n_{\text{эл.нов}}$ или число параллельных ветвей $a_{\text{нов}}$, или то и другое вместе. Для пересчета диаметра провода в этом случае можно воспользоваться табл. 52.

При изменении числа параллельных ветвей число эффективных проводников должно быть соответственно изменено.

Окончательно $d_{\text{нов}}$ уточняется после проверки заполнения паза.

Мощность двигателя (кВт) после перемотки

$$P_{\text{нов}} \approx P_{\text{ст}} \frac{p_{\text{ст}}}{p_{\text{нов}}}.$$

Если индукция при пересчете уменьшена, то мощность, полученная по формуле, должна быть уменьшена пропорционально изменению величины индукции.

При перемотке на бóльшую скорость вращения увеличивается шаг обмотки и вылет лобовых частей. Поэтому следует проверить зазор между удлиненными лобовыми частями и подшипниковыми щитами. Его величина при напряжении до 660 В должна быть не менее 8—10 мм. В двухслойных обмотках для уменьшения вылета следует применять укороченный шаг.

Уменьшению вылета обмотки способствует также применение проводов с более тонкой изоляцией. В крайнем случае приходится уменьшать диаметр провода, но при этом снижается мощность двигателя.

При переходе на большую частоту вращения следует также проверить окружную скорость ротора (м/с)

$$v_р = \frac{3,14 D_р n}{60 \cdot 1000},$$

где $D_р$ — наружный диаметр ротора, мм; n — частота вращения электродвигателя, об/мин.

Для короткозамкнутого ротора окружная скорость не должна превышать 40—60 м/с.

Увеличение частоты вращения вызывает увеличенный нагрев подшипников. Их температуру необходимо проконтролировать при обкатке двигателя.

Пример. Пересчитать обмотку статора двигателя мощностью 13 кВт с 1500 об/мин ($2p_{ст}=4$) при 220/380 В на 3000 об/мин ($2p_{нов}=2$), число фаз $m=3$.

Дополнительные данные: $D_а=29,1$ см; $D_i=18$ см, $l=12$ см, $N_{ст}=40$, $a_{ст}=2$, $n_{эл.ст}=2$, $z_1=36$, $h=2,59$ см, $d_{ст}=1,25$ мм, марка провода ПЭТВ, $z_2=46$ (пазы ротора прямые).

По табл. 46 определяем, что перемотка двигателя на новое число полюсов возможна.

Шаг обмотки находят, учитывая ее вид.

При $D_а > 200—250$ мм обычно применяется двухслойная обмотка, тогда $y_{нов}=12$ (по табл. 37).

Числа пазов на полюс и фазу

$$q_{ст} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3; \qquad q_{нов} = \frac{36}{2 \cdot 3} = 6.$$

Обмоточные коэффициенты (по табл. 40)

$$k_{wст} = 0,902, \qquad k_{wнов} = 0,828.$$

Пересчет ведется на более высокую частоту вращения, поэтому необходимо проверить величину индукции в спинке статора.

Число эффективных проводников в пазу

$$N_{нов} = 40 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{0,902}{0,828} \cdot \frac{2}{2} \approx 22,$$

где $a_{нов}=2$ (по табл. 38).

Полюсное деление

$$\tau = \frac{3,14 D_i}{2p} = \frac{3,14 \cdot 18}{2} = 28,3 \text{ см}.$$

Площадь полюсного деления

$$Q_\delta = \tau l = 28,3 \cdot 12 = 340 \text{ см}^2.$$

Число последовательно соединенных витков в фазе

$$w_{нов} = \frac{N_{нов} z_1}{6 a_{нов}} = \frac{22 \cdot 36}{6 \cdot 2} = 66.$$

Индукция в воздушном зазоре

$$B_\delta = 64 \frac{k_E U_\Phi}{k_{w\text{нов}} Q_\delta w_{\text{нов}}} = 64 \frac{0,94 \cdot 220}{0,828 \cdot 340 \cdot 66} = 0,712 \text{ Т}.$$

Высота спинки статора

$$h_c = 0,5 (D_a - D_i - 2h) = 0,5 (29,1 - 18 - 2 \cdot 2,59) = 2,96 \text{ см}.$$

Индукция в спинке статора

$$B_c = 0,36 B_\delta \frac{\tau}{h_c} = 0,36 \cdot 0,712 \cdot \frac{28,3}{2,96} = 2,45 \text{ Т}.$$

Индукция в спинке велика, поэтому необходимо увеличить число проводников в пазу, чтобы снизить индукцию до допустимых пределов (1,2—1,7 Т).

Число проводников в пазу после корректировки

$$N'_{\text{нов}} = N_{\text{нов}} \frac{B_c}{1,2 \div 1,7} = 22 \frac{2,45}{1,2 \div 1,7} = (32 \div 45) \approx 40.$$

Диаметр провода без изоляции

$$d_{\text{нов}} = d_{\text{ст}} \sqrt{\frac{n_{\text{ст}}}{n_{\text{нов}}}} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{40 \cdot 2}{40 \cdot 2}} = 1,25 \text{ мм}.$$

Так как число проводников в пазу и диаметр провода новой обмотки такие же, как старой, проверять заполнение паза нет необходимости (при той же марке провода).

Индукция в воздушном зазоре после корректировки числа проводников

$$B'_\delta = B_\delta \frac{N_{\text{нов}}}{N'_{\text{нов}}} = 0,712 \frac{22}{40} = 0,391 \text{ Т}.$$

Мощность двигателя

$$P_{\text{нов}} = P_{\text{ст}} \frac{p_{\text{ст}}}{p_{\text{нов}}} \cdot \frac{B'_\delta}{B_\delta} = 13 \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{0,391}{0,712} = 14,2 \text{ кВт}.$$

32. ПЕРЕСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ОБМОТКИ НА ОДНОФАЗНУЮ

Главная обмотка в однофазном асинхронном двигателе обычно занимает ⅔ пазов сердечника статора. Число проводников в ее пазу

$$N_\Gamma = (0,5 \div 0,7) N \frac{U_c}{U_\Phi},$$

где N — число проводников в пазу трехфазного двигателя; U_Φ — номинальное напряжение фазы трехфазного двигателя, В; U_c — напряжение однофазной сети, В.

Меньшие значения числового коэффициента в скобках соответствуют двигателям большей мощности (около 1 кВт) с кратковременным или повторно-кратковременным режимом работы.

Сечение провода без изоляции рабочей обмотки предварительно можно определить по формуле

$$S_г = S \frac{N}{N_р},$$

где S — сечение, мм², провода обмотки трехфазного электродвигателя.

Вспомогательная пусковая обмотка укладывается в $^1/_3$ пазов статора и обычно выполняется с дополнительным внешним сопротивлением или с бифилярными катушками.

Во вспомогательной обмотке с дополнительным внешним сопротивлением число проводников в пазу

$$N_п = (0,7 \div 1)\, N_г;$$

сечение провода (мм²)

$$S_п = (1,4 \div 1)\, S_г.$$

Дополнительное сопротивление (Ом) предварительно определяется по формуле

$$R_п = (1,6 \div 8) \cdot 10^{-3} \frac{U_с}{S_п}$$

и окончательно уточняется при испытании электродвигателя.

В пусковой обмотке с бифилярными катушками число проводников в пазу для основной секции

$$N'_п = (1,3 \div 1,6)\, N_г;$$

число проводников в пазу для бифилярной секции

$$N''_п = (0,45 \div 0,25)\, N'_п;$$

общее число проводников в пазу

$$N_п = N'_п + N''_п;$$

сечение провода предварительно

$$S'_п = S''_п \approx 0,5 S_г.$$

С точки зрения получения наилучших пусковых свойств применение обмотки с дополнительным внешним сопротивлением предпочтительнее, так как здесь имеется возможность увеличить величину пускового момента без перемотки обмотки.

Ток (А) в рабочей обмотке однофазного двигателя (при числе параллельных ветвей $a=1$)

$$I = j_г\, S_г,$$

где $j_г$ — плотность тока в рабочей обмотке, А/мм², выбирается в пределах от 6 до 10 А/мм² (бо́льшие значения для микродвигателей меньшей мощности).

Полная мощность двигателя (В·А)

$$P' = U_с\, I.$$

Мощность на валу двигателя (Вт)

$$P \approx P' \eta \cos \varphi,$$

где $\eta \cos\varphi$ — энергетический кпд (табл. 53).

Таблица 53. **Энергетический кпд однофазных асинхронных двигателей с пусковыми элементами**

P', В·А	$\eta\cos\varphi$ при числе полюсов		P', В·А	$\eta\cos\varphi$ при числе полюсов	
	$2p=2$	$2p=4$		$2p=2$	$2p=4$
100	0,30	0,15	600	0,49	0,38
150	0,32	0,19	800	0,52	0,43
200	0,34	0,22	1000	0,54	0,46
400	0,43	0,31			

Во время пуска однофазный двигатель, переделанный из трехфазного, иногда застревает при разгоне на низкой скорости. Такое явление часто наблюдается у двухполюсных двигателей.

Условия пуска улучшаются при увеличении воздушного зазора и повышении сопротивления обмотки ротора. Зазор может быть увеличен путем прогочки ротора. Сопротивление короткозамкнутой обмотки возрастает при уменьшении сечения короткозамыкающих колец и стержней. Кольца для этой цели можно проточить на токарном станке, а сечение стержней можно уменьшить путем высверливания или продольного их разрезания. Часть материала стержней при этом удаляется, сечение на некоторой длине уменьшается, и сопротивление увеличивается. Материал надо удалить в симметрично расположенных по окружности ротора стержнях.

Пусковые свойства улучшаются также при применении двухслойных обмоток с укорочением шага на $^1/_3$ полюсного деления.

В однофазных электродвигателях пусковой момент может значительно снизиться из-за падения напряжения в подводящих проводах при большой величине пускового тока, на который однофазные сети обычно не рассчитаны. В этом случае необходимо увеличить сечение подводящих проводов от источника питания.

Пример. Данные трехфазного двигателя: мощность 120 Вт; напряжение 127/220 В; синхронная частота вращения 1500 об/мин; $N=147$; $d=0{,}35$ мм; $S=0{,}0962$ мм^2; марка провода ПЭЛШО; $z_1=24$. Требуется пересчитать обмотку статора на однофазную без изменения частоты вращения на напряжение сети 220 В.

Число проводников в пазу главной обмотки (занимает $\frac{2}{3}\cdot 24=$ $=16$ пазов)

$$N_{г} = (0{,}5 \div 0{,}7)\, 147 \frac{220}{127} \approx 150.$$

Сечение провода главной обмотки (предварительно)

$$S_{г} = 0{,}0962 \frac{147}{150} = 0{,}0945 \text{ мм}^2.$$

Диаметры провода главной обмотки $d_г = 0{,}35$ мм — без изоляции (по табл. 22); $D_г = 0{,}41$ мм — с изоляцией (по табл. 24, марка провода ПЭВ-2).

Проверка заполнения паза рабочей обмотки:

а) диаметр провода с изоляцией старой обмотки $D = 0{,}35 + 0{,}11 = 0{,}46$ мм (толщина изоляции 0,11 мм — по табл. 27);

б) отношение сечений в пазу новой и старой обмоток

$$\frac{D_р^2 N_р}{D^2 N} = \frac{0{,}41^2 \cdot 150}{0{,}46^2 \cdot 147} = 0{,}82.$$

Обмотка размещается в пазу очень свободно. Увеличиваем диаметр провода, чтобы повысить мощность двигателя:

$$d'_р = 0{,}38 \text{ мм}, \quad D'_р = 0{,}44 \text{ мм}, \quad S'_р = 0{,}113 \text{ мм}^2.$$

Проверка заполнения паза при новом диаметре

$$0{,}44^2 \cdot 150 = 29; \quad 0{,}46^2 \cdot 147 = 31{,}1; \quad 29 < 31{,}1.$$

Пусковая обмотка с дополнительным внешним сопротивлением:

а) число проводников в пазу

$$N_п = (0{,}7 \div 1) \cdot 150 \approx 120;$$

б) сечение провода (предварительно)

$$S_п = (1{,}4 \div 1) \cdot 0{,}113 \approx 0{,}135 \text{ мм}^2;$$

в) диаметры и сечение провода

$$d_п = 0{,}41 \text{ мм — без изоляции;}$$

$$D_п = 0{,}47 \text{ мм — с изоляцией (марка ПЭВ-2);}$$

$$S_п = 0{,}132 \text{ мм}^2;$$

г) проверка заполнения паза пусковой обмотки

$$0{,}47^2 \cdot 120 \approx 27; \quad 0{,}46^2 \cdot 147 = 31{,}1; \quad 27 < 31{,}1;$$

д) дополнительное сопротивление (предварительно)

$$R_п = (1{,}6 \div 8) \cdot 10^{-3} \frac{220}{0{,}132} \approx 8 \text{ Ом}.$$

Пусковая обмотка с бифилярными катушками:

а) число проводников в пазу для основной секции

$$N'_п = (1{,}3 \div 1{,}6) \cdot 150 \approx 220;$$

б) число проводников в пазу для бифилярной секции

$$N''_п = (0{,}45 \div 0{,}25) \cdot 220 \approx 80;$$

в) общее число проводников в пазу

$$N_п = 220 + 80 = 300;$$

г) сечение провода (предварительно)

$$S'_п = S''_п = 0{,}5 \cdot 0{,}113 = 0{,}057 \text{ мм}^2;$$

д) диаметры провода

$$d_п = 0{,}27 \text{ мм — без изоляции;}$$

$$D_п = 0{,}32 \text{ мм — с изоляцией (марка ПЭВ-2);}$$

е) проверка заполнения паза

$$0{,}32^2 \cdot 300 = 30{,}7; \quad 0{,}46^2 \cdot 147 = 31{,}1; \quad 30{,}7 < 31{,}1.$$

Ток в рабочей обмотке

$$I = 9 \cdot 0{,}113 = 1{,}02 \text{ А}.$$

Полная мощность

$$P' = 220 \cdot 1{,}02 = 224 \text{ В·А}.$$

Мощность на валу

$$P = 224 \cdot 0{,}25 = 56 \text{ Вт}.$$

33. ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ БЕЗ ПЕРЕМОТКИ

Трехфазный асинхронный двигатель может работать от однофазной сети как однофазный двигатель с пусковым элементом или как однофазный конденсаторный с постоянно включенной рабочей емкостью. Применение двигателя в качестве конденсаторного предпочтительнее, так как при этом он может развить большую мощность. Если принять за 100% мощность трехфазного двигателя, обозначенную на его щитке, то при однофазном включении двигатель может отдать 50—70% этой мощности, а при использовании в качестве конденсаторного — 70—85% и более. Еще одно преимущество схем кондесаторного включения заключается в том, что в этом случае отсутствует специальное пусковое устройство, которое необходимо при однофазной схеме для отключения пусковой обмотки после разгона двигателя.

Схему включения (рис. 87, 88) надо выбирать с учетом напряжения сети и номинального напряжения двигателя. Например, при соединении фаз в звезду и трех выведенных концах от обмотки статора (рис. 87) двигатель может быть использован в сети, напряжение которой равно номинальному напряжению двигателя. Так, двигатель с номинальным напряжением 127 В может работать в сети 127 В, двигатель 220 В — в сети 220 В и т. д.

При шести выводных концах двигатель имеет два номинальных напряжения: 127/220 В, 220/380 В. Если напряжение сети равно большему номинальному напряжению двигателя, т. е. $U_c = 220$ В при номинальном напряжении 127/220 В или $U_c = 380$ В при номинальном напряжении 220/380 В и т. д., то надо пользоваться схемами, приведенными на рис. 88, *а*, *б*. При напряжении сети, равном меньшему номинальному напряжению двигателя, следует применять схему, показанную на рис. 88, *в*. В этом случае при однофазном включении в рабочем режиме значительно уменьшается мощность двигателя, поэтому целесообразно применять схемы с рабочей емкостью.

Величина рабочей емкости $C_р$ (мкФ) для каждой схемы должна иметь определенное значение и может быть подсчитана исходя из

напряжения однофазной сети U_c и номинального тока $I_ф$ в фазе трехфазного двигателя

$$C_р \approx k \frac{I_ф}{U_с},$$

где k — коэффициент, зависящий от схемы включения. При частоте 50 Гц для схем по рис. 87, *б* и 88, *б* можно приинять $k=2800$; для схемы по рис. 87, *в* — $k=4800$; для схемы по рис. 88, *в* — $k=1600$.

Напряжение на конденсаторе $U_к$ также зависит от схемы включения и напряжения сети. Для схем по рис. 87, *б* и *в* оно может быть принято равным напряжению сети; для схемы рис. 88, *б* — $U_к \approx$ $\approx 1{,}15\ U_с$; для схемы рис. 88, *в* — $U_к = 2\ U_с$.

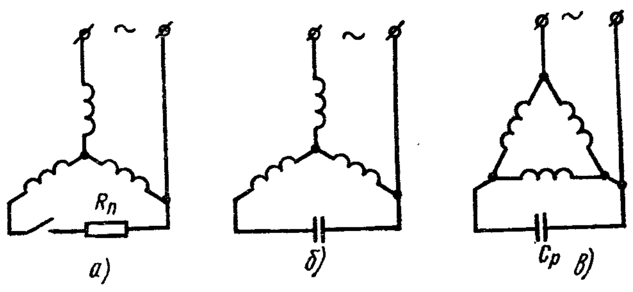


Рис. 87. Схемы включения в однофазиую сеть трехфазиых двигателей с тремя выводами:

а — схема с пусковым сопротивлением, *б*, *в* — схемы с рабочей емкостью

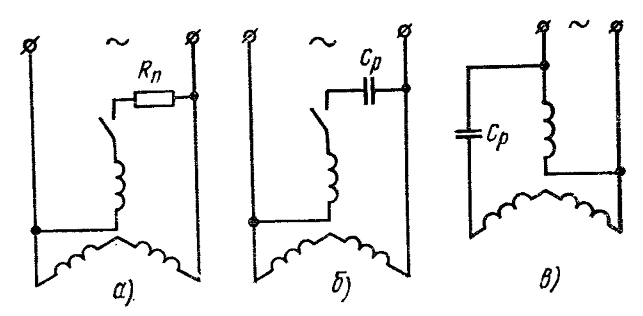


Рис. 88. Схема включения в однофазную сеть трехфазных двигателей с шестью выводами:

а — схема с пусковым сопротивлением; *б*, *в* — схемы с рабочей емкостью

Номинальное напряжение конденсатора должно быть равно или несколько больше расчетного значения.

Необходимо помнить, что конденсаторы после отключения длительное время сохраняют напряжение на своих зажимах и создают

при прикосновении к ним опасность поражения человека электрическим током. Опасность поражения тем выше, чем больше емкость и выше напряжение на включенном в схему конденсаторе. При ремонте или отладке двигателя необходимо после каждого отключения конденсатор разрядить. В качестве разрядного сопротивления можно использовать несколько включенных последовательно ламп. Для защиты от случайного прикосновения в процессе эксплуатации двигателя конденсаторы должны быть жестко закреплены и ограждены.

Величину пускового сопротивления $R_п$ определяют опытным путем, используя регулируемое сопротивление (реостат).

Предварительно величина $R_п$ может быть подсчитана по формуле (см. с. 112).

Если необходимо получить увеличенный момент при пуске двигателя, то параллельно рабочему конденсатору включают пусковой. Величина его емкости обычно подсчитывается по формуле

$$C_п \approx (2{,}5 \div 3)\, C_р.$$

Пусковой момент при этом получается близким к номинальному моменту трехфазного двигателя.

34. ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

При изменении частоты $f_{ст}$ на другую $f_{нов}$ число эффективных проводников в пазу изменяется обратно пропорционально частоте

$$N_{нов} = N_{ст} \frac{f_{ст}}{f_{нов}}.$$

Сечение и диаметр провода изменяются соответственно

$$S_{нов} = S_{ст} \frac{N_{ст}}{N_{нов}}; \quad d_{нов} = d_{ст} \sqrt{\frac{N_{ст}}{N_{нов}}}.$$

Мощность при новой частоте (кВт)

$$P_{нов} = P_{ст} \frac{f_{нов}}{f_{ст}}.$$

В случае значительного повышения частоты (с 50 на 200—400 Гц) мощность, подсчитанная по приведенной формуле, должна быть уменьшена на 15—35% из-за увеличения потерь в меди обмотки, вызванного явлением поверхностного эффекта, и в стали сердечника.

При пересчете на более высокую частоту следует проверить окружную скорость ротора, так как при повышении частоты вращения в элементах ротора могут возникнуть недопустимо большие механические напряжения.

Частота вращения двигателя изменяется пропорционально отношению частот:

$$n_{нов} = n_{ст} \frac{f_{нов}}{f_{ст}}.$$

35. РАСЧЕТ МАССЫ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ВСЫПНОЙ ОБМОТКИ СТАТОРА

Средняя ширина (см) катушки двухслойной и однослойной цепной обмоток.

$$\tau_y = \frac{3,14}{z_1}(D_i + h_п)\,y.$$

Длина лобовой части (см):

а) двухслойной и однослойной цепной обмоток

$$l_л = k_л\,\tau_y + 2,$$

где $k_л$ — по табл. 54;

Таблица 54. **Коэффициенты $k_л$ и $k_в$ для расчета обмотки**

2p	Лобовые части не изолированы		Лобовые части изолированы лентой	
	$k_л$	$k_в$	$k_л$	$k_в$
2	1,2	0,26	1,45	0,44
4	1,3	0,40	1,55	0,50
6	1,4	0,50	1,75	0,62
8 и более	1,5	0,50	1,90	0,72

Примечание. Для однослойной цепной обмотки величины $k_л$ берутся на 10—15% больше.

б) однослойной концентрической обмотки

$$l_л = 1,4\tau^* + (2 \div 5).$$

Большие значения величины в скобках берутся для более крупных машин.

Вылет лобовой части (см) для двухслойной обмотки (от торца сердечника)

$$l_в = k_в\,\tau_y + 2,$$

где $k_в$ — по табл. 54.

Средняя длина полувитка (см)

$$l_{пв} = l_л + l_i.$$

Общая длина провода (км) на обмотку

$$L = l_{пв}\,z_1\,n \cdot 10^{-5}.$$

Масса меди (кг) без изоляции

$$M_м = 7Ld^2.$$

Масса провода (кг) с изоляцией

$$M = [0,876 + 0,124\,(D/d)^2]\,M_м.$$

---

* Формула для вычисления полюсного деления приведена на с. 89.

Сопротивление фазы трехфазной обмотки (Ом)

$$r = \frac{5{,}85L}{S\,(n_{эл}\,a)^2}.$$

Пример. Определить массу и сопротивление обмотки при следующих данных: $D_i = 14{,}4$ см; $h_п = 2{,}1$ см; $l_i = 14{,}8$ см, $z_1 = 36$; $2p = 6$, $m = 3$, $n = 32 \times 2$, $d = 1{,}12$ мм, $a = 1$; обмотка однослойная концентрическая, провод медный ПЭВ-2, $D = 1{,}23$ мм. Лобовые части не изолированы.

Полюсное деление

$$\tau = \frac{3{,}14 \cdot 14{,}4}{6} = 7{,}55 \text{ см}.$$

Длина лобовой части

$$l_л \approx 1{,}4 \cdot 7{,}55 + 4 = 14{,}6 \text{ см}.$$

Средняя длина полувитка

$$l_{пв} = 14{,}6 + 14{,}8 = 29{,}4 \text{ см}.$$

Общая длина провода на обмотку

$$L = 29{,}4 \cdot 36 \cdot 32 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0{,}678 \text{ км}.$$

Масса меди без изоляции

$$M_м = 7 \cdot 0{,}678 \cdot 1{,}12^2 = 5{,}95 \text{ кг}.$$

Масса провода с изоляцией

$$M = \left[0{,}876 + 0{,}124\left(\frac{1{,}23}{1{,}12}\right)^2\right]5{,}95 = 6{,}1 \text{ кг}.$$

Сопротивление фазы обмотки

$$r = \frac{5{,}85 \cdot 0{,}678}{0{,}985\,(2 \cdot 1)^2} = 1 \text{ Ом},$$

где $S = 0{,}985$ мм^2 (по табл. 22).

36. ЗАМЕНА КРУГЛОГО ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА ДВУМЯ ПРОВОДАМИ

При отсутствии провода нужного диаметра его можно заменить двумя проводами. Суммарное их сечение должно быть равно или несколько больше сечения заменяемого провода. Допустимо также небольшое (на 2—3%) уменьшение сечения без понижения мощности двигателя.

Для трехфазных обмоток возможность выбора диаметров заменяющих проводов может быть расширена путем изменения соединения фаз. Если фазы были соединены в треугольник, то при изменении соединения на звезду ток в фазе обмотки увеличится в 1,73 раза, во столько же раз надо увеличить и сечение провода. Число эффективных проводников в пазу в этом случае должно быть уменьшено также в 1,73 раза, так как при изменении соединения фаз на звезду соответственно уменьшается и напряжение фазы обмотки.

Таблица 55. Изменение сечений проводов при изменении соединения фаз

Обозначения: d и S — диаметр, мм, и сечение, мм², заменяемого провода; S_1 — сечение провода при изменении соединения фаз с Δ на Y, мм²; S_2 — сечение провода при изменении соединения фаз с Y на Δ, мм².

d	S	S_1	S_2	d	S	S_1	S_2
0,47	0,173	0,300	0,100	1,12	0,985	1,71	0,569
0,49	0,189	0,327	0,109	1,16	1,06	1,83	0,611
0,50	0,196	0,340	0,113	1,18	1,09	1,89	0,632
0,51	0,204	0,354	0,118	1,20	1,13	1,96	0,653
0,53	0,221	0,382	0,128	1,25	1,23	2,13	0,710
0,55	0,238	0,412	0,137	1,30	1,33	2,30	0,767
0,56	0,246	0,427	0,142	1,32	1,37	2,37	0,790
0,57	0,255	0,442	0,147	1,35	1,43	2,48	0,826
0,59	0,273	0,473	0,158	1,40	1,54	2,67	0,889
0,62	0,302	0,523	0,175	1,45	1,65	2,86	0,953
0,63	0,312	0,540	0,180	1,50	1,77	3,06	1,02
0,64	0,322	0,557	0,186	1,56	1,91	3,31	1,10
0,67	0,353	0,611	0,204	1,60	2,01	3,48	1,16
0,69	0,374	0,648	0,216	1,62	2,06	3,57	1,19
0,71	0,396	0,686	0,229	1,68	2,22	3,84	1,28
0,72	0,407	0,705	0,235	1,70	2,27	3,93	1,31
0,74	0,430	0,745	0,249	1,74	2,38	4,12	1,37
0,75	0,442	0,765	0,256	1,80	2,54	4,40	1,47
0,77	0,466	0,808	0,270	1,81	2,57	4,45	1,49
0,80	0,503	0,871	0,291	1,88	2,78	4,81	1,60
0,83	0,541	0,937	0,313	1,90	2,84	4,91	1,64
0,85	0,567	0,982	0,328	1,95	2,99	5,17	1,67
0,86	0,581	1,01	0,336	2,00	3,14	5,44	1,82
0,90	0,636	1,10	0,367	2,02	3,20	5,55	1,85
0,93	0,679	1,18	0,392	2,10	3,46	6,00	2,00
0,95	0,709	1,23	0,410	2,12	3,53	6,11	2,04
0,96	0,724	1,25	0,418	2,24	3,94	6,82	2,28
1,00	0,785	1,36	0,453	2,26	4,01	6,94	2,32
1,04	0,849	1,47	0,490	2,36	4,37	7,57	2,53
1,06	0,882	1,53	0,510	2,44	4,68	8,10	2,70
1,08	0,916	1,59	0,529	2,50	4,91	8,50	2,84

Таблица 56. **Сумма сечений двух круглых проводов**

d_1, мм	Сумма сечений, мм², при диаметре второго провода d_2, мм											
	0,44	0,45	0,47	0,49	0,50	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,59	0,62
0,55	0,390	0,397	0,411	0,426	0,434	0,442	0,458	0,475	—	—	—	—
0,56	0,398	0,405	0,420	0,435	0,443	0,451	0,467	0,484	0,493	—	—	—
0,57	0,407	0,414	0,429	0,444	0,452	0,460	0,476	0,493	0,502	0,510	—	—
0,59	0,425	0,432	0,447	0,462	0,470	0,478	0,494	0,511	0,520	0,529	0,547	—
0,62	0,454	0,461	0,475	0,491	0,498	0,506	0,522	0,540	0,548	0,557	0,575	0,604
0,63	0,464	0,471	0,485	0,500	0,508	0,516	0,532	0,549	0,558	0,567	0,585	0,614
0,64	0,474	0,481	0,495	0,510	0,518	0,526	0,543	0,559	0,568	0,577	0,595	0,624
0,67	0,505	0,512	0,526	0,541	0,549	0,557	0,573	0,590	0,599	0,608	0,626	0,655
0,69	0,526	0,533	0,547	0,562	0,570	0,578	0,595	0,612	0,620	0,629	0,647	0,676
0,71	0,548	0,555	0,569	0,584	0,592	0,600	0,617	0,634	0,642	0,651	0,669	0,698
0,72	0,559	0,566	0,581	0,596	0,604	0,612	0,628	0,645	0,653	0,662	0,681	0,709
0,74	0,582	0,589	0,604	0,619	0,626	0,634	0,651	0,668	0,676	0,685	0,703	0,732
0,75	0,594	0,601	0,615	0,630	0,638	0,646	0,662	0,679	0,688	0,697	0,715	0,744
0,77	0,618	0,625	0,639	0,654	0,662	0,670	0,686	0,703	0,712	0,721	0,739	0,768
0,80	0,655	0,662	0,676	0,691	0,699	0,707	0,723	0,74	0,75	0,76	0,78	0,80
0,83	0,693	0,700	0,714	0,730	0,737	0,745	0,762	0,78	0,79	0,80	0,81	0,84
0,85	0,719	0,726	0,741	0,756	0,764	0,772	0,788	0,80	0,81	0,82	0,84	0,87
0,86	0,733	0,740	0,754	0,770	0,777	0,785	0,802	0,82	0,83	0,84	0,85	0,88
0,90	0,788	0,795	0,810	0,825	0,833	0,840	0,857	0,87	0,88	0,89	0,91	0,94
0,93	—	0,838	0,853	0,868	0,875	0,884	0,900	0,92	0,92	0,93	0,95	0,98
0,95	—	—	0,882	0,897	0,905	0,913	0,929	0,95	0,96	0,96	0,98	1,01
0,96	—	—	0,897	0,912	0,920	0,928	0,944	0,96	0,97	0,98	1,00	1,03
1,00	—	—	—	0,974	0,982	0,990	1,006	1,02	1,03	1,04	1,06	1,09
1,06	—	—	—	—	1,046	1,054	1,070	1,09	1,10	1,10	1,12	1,15
1,08	—	—	—	—	—	1,087	1,103	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18
1,12	—	—	—	—	—	—	1,137	1,15	1,16	1,17	1,19	1,22
1,16	—	—	—	—	—	—	—	1,22	1,23	1,24	1,26	1,29
1,18	—	—	—	—	—	—	—	—	1,30	1,31	1,33	1,36

Продолжение табл. 56

d_1, мм	Сумма сечений, мм², при диаметре второго провода d_2, мм											
	0,63	0,64	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	0,77	0,80	0,83	0,85
0,71	0,71	0,72	0,75	0,77	0,79	—	—	—	—	—	—	—
0,72	0,72	0,73	0,76	0,78	0,80	0,81	—	—	—	—	—	—
0,74	0,74	0,75	0,78	0,80	0,83	0,84	0,86	—	—	—	—	—
0,75	0,75	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	—	—	—	—
0,77	0,78	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87	0,90	0,91	0,93	—	—	—
0,80	0,81	0,82	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,97	1,01	—	—
0,83	0,85	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	1,01	1,04	1,08	—
0,85	0,88	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	1,00	1,01	1,03	1,07	1,11	1,13
0,86	0,89	0,90	0,93	0,95	0,98	0,99	1,01	1,02	1,05	1,08	1,12	1,15
0,90	0,95	0,96	0,99	1,01	1,03	1,04	1,07	1,08	1,10	1,14	1,18	1,20
0,93	0,99	1,00	1,03	1,05	1,08	1,09	1,11	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25
0,95	1,02	1,03	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,17	1,21	1,25	1,28
0,96	1,04	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,23	1,27	1,29
1,00	1,10	1,11	1,14	1,16	1,18	1,19	1,22	1,23	1,25	1,29	1,33	1,35
1,04	1,16	1,17	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,29	1,32	1,35	1,39	1,42
1,06	1,19	1,20	1,24	1,26	1,28	1,29	1,31	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45
1,08	1,23	1,24	1,27	1,29	1,31	1,32	1,35	1,36	1,38	1,42	1,46	1,48
1,12	1,30	1,31	1,34	1,36	1,38	1,39	1,42	1,43	1,45	1,49	1,53	1,55
1,16	1,37	1,38	1,41	1,43	1,45	1,46	1,49	1,50	1,52	1,56	1,60	1,62
1,18	1,41	1,42	1,45	1,47	1,49	1,50	1,52	1,54	1,56	1,60	1,64	1,66
1,20	1,44	1,45	1,48	1,50	1,53	1,54	1,56	1,57	1,60	1,63	1,67	1,70
1,25	1,54	1,55	1,58	1,60	1,62	1,63	1,66	1,67	1,69	1,73	1,77	1,79
1,30	1,64	1,65	1,68	1,70	1,72	1,73	1,76	1,77	1,80	1,83	1,87	1,89
1,32	—	1,69	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80	1,81	1,83	1,87	1,91	1,94
1,35	—	—	1,78	1,80	1,83	1,84	1,86	1,87	1,90	1,93	1,97	2,00
1,40	—	—	—	1,91	1,93	1,95	1,97	1,98	2,00	2,04	2,08	2,11
1,45	—	—	—	—	2,05	2,06	2,08	2,09	2,12	2,15	2,19	2,22
1,50	—	—	—	—	—	—	2,20	2,21	2,23	2,27	2,31	2,33

Продолжение табл. 56

d_1, мм	Сумма сечений, мм², при диаметре второго провода d_2, мм											
	0,86	0,90	0,93	0,95	0,96	1,00	1,04	1,06	1,08	1,12	1,16	1,18
0,95	1,29	1,34	1,39	1,42	—	—	—	—	—	—	—	—
0,96	1,30	1,36	1,40	1,43	1,45	—	—	—	—	—	—	—
1,00	1,37	1,42	1,46	1,49	1,51	1,57	—	—	—	—	—	—
1,04	1,43	1,48	1,53	1,56	1,57	1,63	1,70	—	—	—	—	—
1,06	1,46	1,52	1,56	1,59	1,61	1,67	1,73	1,77	—	—	—	—
1,08	1,50	1,55	1,60	1,62	1,64	1,70	1,77	1,80	1,83	—	—	—
1,12	1,57	1,62	1,66	1,69	1,71	1,77	1,83	1,87	1,90	1,97	—	—
1,16	1,64	1,69	1,74	1,76	1,78	1,84	1,91	1,94	1,97	2,04	2,11	—
1,18	1,67	1,73	1,77	1,80	1,82	1,88	1,94	1,98	2,01	2,08	2,15	2,19
1,20	1,71	1,77	1,81	1,84	1,85	1,92	1,98	2,01	2,05	2,12	2,19	2,22
1,25	1,81	1,86	1,91	1,94	1,95	2,01	2,08	2,11	2,14	2,21	2,28	2,32
1,30	1,91	1,96	2,01	2,04	2,05	2,11	2,18	2,21	2,24	2,31	2,38	2,42
1,32	1,95	2,00	2,05	2,08	2,09	2,15	2,22	2,25	2,28	2,35	2,43	2,46
1,35	2,01	2,07	2,11	2,14	2,15	2,22	2,28	2,31	2,35	2,42	2,49	2,52
1,40	2,12	2,18	2,22	2,25	2,26	2,32	2,39	2,42	2,46	2,52	2,60	2,63
1,45	2,23	2,29	2,33	2,36	2,37	2,41	2,50	2,53	2,57	2,64	2,71	2,74
1,50	2,35	2,41	2,45	2,48	2,49	2,55	2,62	2,65	2,68	2,75	2,82	2,86
1,56	2,49	2,55	2,59	2,62	2,63	2,70	2,76	2,79	2,83	2,90	2,97	3,00
1,60	2,59	2,65	2,69	2,72	2,73	2,80	2,86	2,89	2,93	3,00	3,07	3,10
1,62	2,64	2,70	2,74	2,77	2,78	2,85	2,91	2,94	2,98	3,05	3,12	3,15
1,68	2,80	2,85	2,90	2,93	2,94	3,00	3,07	3,10	3,13	3,20	3,27	3,31
1,70	2,85	2,91	2,95	2,98	2,99	3,06	3,12	3,15	3,19	3,26	3,33	3,36
1,74	2,96	3,01	3,06	3,09	3,10	3,16	3,23	3,26	3,29	3,36	3,44	3,47
1,80	—	3,18	3,22	3,25	3,27	3,33	3,39	3,43	3,46	3,53	3,60	3,64
1,81	—	3,21	3,25	3,28	3,30	3,36	3,42	3,46	3,49	3,56	3,63	3,67
1,88	—	—	3,46	3,49	3,50	3,56	3,62	3,66	3,69	3,76	3,83	3,87
1,90	—	—	—	3,54	3,56	3,62	3,68	3,72	3,75	3,82	3,89	3,93
1,95	—	—	—	—	3,71	3,77	3,83	3,87	3,90	3,97	4,04	4,08

Продолжение табл. 56

d_1, мм	Сумма сечений, мм², при диаметре второго провода d_2, мм											
	1,20	1,25	1,30	1,32	1,35	1,40	1,45	1,50	1,56	1,60	1,62	1,68
1,20	2,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	2,36	2,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,30	2,46	2,55	2,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,32	2,50	2,60	2,70	2,74	—	—	—	—	—	—	—	—
1,35	2,56	2,66	2,76	2,80	2,86	—	—	—	—	—	—	—
1,40	2,67	2,77	2,87	2,91	2,97	3,08	—	—	—	—	—	—
1,45	2,78	2,88	2,98	3,02	3,08	3,19	3,30	—	—	—	—	—
1,50	2,90	2,99	3,09	3,14	3,20	3,31	3,42	3,53	—	—	—	—
1,56	3,04	3,14	3,24	3,28	3,34	3,45	3,56	3,68	3,82	—	—	—
1,60	3,14	3,24	3,34	3,38	3,44	3,55	3,66	3,78	3,92	4,02	—	—
1,62	3,19	3,29	3,39	3,43	3,49	3,60	3,71	3,83	3,97	4,07	4,12	—
1,68	3,35	3,44	3,54	3,59	3,65	3,76	3,87	3,98	4,13	4,23	4,28	4,43
1,70	3,40	3,50	3,60	3,64	3,70	3,81	3,92	4,04	4,18	4,28	4,33	4,49
1,74	3,51	3,60	3,71	3,75	3,81	3,92	4,03	4,15	4,29	4,39	4,44	4,60
1,80	3,68	3,77	3,87	3,91	3,98	4,08	4,20	4,31	4,46	4,56	4,61	4,76
1,81	3,70	3,80	3,90	3,94	4,00	4,11	4,22	4,34	4,48	4,58	4,63	4,79
1,88	3,91	4,00	4,10	4,14	4,21	4,32	4,43	4,54	4,69	4,79	4,84	4,99
1,90	3,97	4,06	4,16	4,20	4,27	4,38	4,49	4,60	4,75	4,85	4,90	5,05
1,95	4,12	4,21	4,31	4,35	4,42	4,53	4,64	4,75	4,90	5,00	5,05	5,20
2,00	4,27	4,37	4,47	4,51	4,57	4,68	4,79	4,91	5,05	5,15	5,20	5,36
2,02	4,33	4,43	4,53	4,57	4,64	4,74	4,86	4,97	5,12	5,22	5,27	5,42
2,10	4,59	4,69	4,79	4,83	4,90	5,00	5,12	5,23	5,38	5,48	5,52	5,68
2,12	4,66	4,76	4,86	4,90	4,96	5,07	5,18	5,30	5,44	5,54	5,59	5,75
2,24	5,07	5,17	5,27	5,31	5,37	5,48	5,59	5,71	5,85	5,95	6,00	6,16
2,26	5,14	5,24	5,34	5,38	5,44	5,55	5,66	5,78	5,92	6,02	6,07	6,23
2,36	5,50	5,60	5,70	5,74	5,80	5,91	6,02	6,14	6,28	6,38	6,44	6,59
2,44	5,81	5,90	6,00	6,04	6,11	6,22	6,33	6,44	6,59	6,69	6,74	6,89
2,50	—	6,14	6,24	6,28	6,34	6,45	6,56	6,68	6,82	6,92	6,97	7,13

При изменении соединения фаз со звезды на треугольник ток и сечение провода уменьшаются в 1,73 раза, число эффективных проводников в пазу должно быть увеличено в 1,73 раза.

Изменение соединения фаз в двигателях, рассчитанных на два номинальных напряжения, можно осуществлять в том случае, если заранее известно, при каком напряжении будет эксплуатироваться отремонтированный двигатель.

Увеличение суммарного сечения проводов допустимо с точки зрения сохранения мощности, но ограничивается возможностью размещения обмотки в пазах. Следует заметить, что при переходе на звезду при низшем напряжении возможность выбора проводов с увеличенным сечением возрастает, так как уменьшается число проводников в пазу.

Для удобства подбора диаметров заменяющих проводов приведены табл. 55, 56.

По табл. 55 находим сечение заменяемого провода. По сечению подбираем диаметры d_1 и d_2 заменяющих проводов по табл. 56, которая позволяет также оценить насколько велика погрешность при замене. Например, необходимо заменить провод $d=0{,}86$ мм. Находим по табл. 55 его сечение $S=0{,}581$ мм^2 и сечения при изменении соединения фаз: $S_1=1{,}01$ мм^2 и $S_2=0{,}336$ мм^2. По этой же таблице определяем, что провод может быть заменен проводом $d=1{,}12$ мм^2 при изменении соединения фаз с Δ на Y $(0{,}985\approx1{,}01)$. По табл. 56 находим заменяющие провода без изменения соединения фаз: 0,74 и 0,44 мм; 0,72 и 0,47 мм; 0,71 и 0,49 мм; 0,69 и 0,51 мм; 0,64 и 0,57 мм; 0,63 и 0,59 мм. Можно при необходимости подобрать и другие пары проводов с большей погрешностью при замене.

После выбора диаметров и марки заменяющих проводов необходимо проверить заполнение паза.

37. ЗАМЕНА МЕДНЫХ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ АЛЮМИНИЕВЫМИ

Электрическое сопротивление алюминия в 1,63 раза больше, чем меди. При замене медного провода алюминиевым того же сечения номинальный ток должен быть снижен на 22%, чтобы оставить неизменными потери энергии в обмотке и ее нагрев. Для увеличения мощности асинхронного электродвигателя при замене медной обмотки алюминиевой имеются следующие возможности:

1) повысить класс нагревостойкости изоляции (это удается в тех случаях, когда старая обмотка имела класс нагревостойкости A, так как алюминиевые провода выпускаются с классом нагревостойкости E);

2) увеличить диаметр алюминиевого провода по сравнению с медным на $3{,}5\div5\%$ за счет увеличения заполнения паза (алюминиевые провода мягче медных, что позволяет повысить коэффициент заполнения свободной площади паза: для медных проводов он равен $f_п=$ $=0{,}65-0{,}7$, для алюминиевых может быть повышен до 0,72—0,75, т. е. примерно в 1,08 раза);

3) увеличить диаметр алюминиевого провода путем применения более тонкой изоляции провода.

Проблема замены материала провода в первую очередь возникает при ремонте и производстве наиболее распространенных типов электрических машин — асинхронных двигателей. Применение алюминие-

вых проводов с эмалевой изоляцией вместо медных ПЭЛБО с одновременным переходом на изоляцию класса E почти во всех случаях позволяет сохранить номинальную мощность двигателя (табл. 57).

Таблица 57. **Замена медного провода алюминиевым**

Обозначения: $d_м$ — диаметр без изоляции медного провода марки ПЭЛБО; $d_{ал}$ — диаметр без изоляции алюминиевых проводов с эмалевой изоляцией; I_A — допустимый ток двигателя после перемотки при классе нагревостойкости изоляции A; I_E — допустимый ток двигателя после перемотки при классе нагревостойкости изоляции E

$d_м$, мм	$d_{ал}$, мм	I_A, %	I_E, %	$d_м$, мм	$d_{ал}$, мм	I_A, %	I_E, %
0,44	0,57	100	100	1,00	1,16	91,0	100
0,47	0,59	98,5	100	1,04	1,20	90,0	100
0,49	0,62	100	100	1,08	1,25	91,0	100
0,51	0,64	98,0	100	1,12	1,30	91,0	100
0,53	0,67	100	100	1,16	1,35	92,0	100
0,55	0,69	98,5	100	1,20	1,40	92,0	100
0,57	0,69	94,5	100	1,25	1,45	91,0	100
0,59	0,72	95,0	100	1,30	1,50	90,0	100
0,62	0,74	93,5	100	1,35	1,56	90,0	100
0,64	0,77	94,0	100	1,40	1,62	91,0	100
0,67	0,80	93,5	100	1,45	1,68	91,0	100
0,69	0,83	94,0	100	1,50	1,74	91,0	100
0,72	0,86	93,5	100	1,56	1,81	91,0	100
0,74	0,90	95,0	100	1,62	1,88	91,0	100
0,77	0,93	94,5	100	1,68	1,95	91,0	100
0,80	0,96	94,0	100	1,74	1,95	87,5	97,0
0,83	0,96	90,0	100	1,81	2,02	87,5	97,0
0,86	1,00	91,0	100	1,88	2,10	87,5	97,0
0,90	1,04	90,0	100	1,95	2,10	84,5	94,0
0,93	1,08	92,0	100	2,02	2,26	87,5	97,0
0,96	1,12	92,0	100	2,10	2,26	84,5	94,0

Увеличить заполнение паза проводниковым материалом можно также путем уменьшения толщины пазовой изоляции, замены двухслойной обмотки на однослойную и уменьшения числа параллельных проводников, что позволяет применить провода большего диаметра. Медные обмотки выполняют из провода диаметром до 1,88 мм. Для алюминиевых обмоток используют провода с диаметром (без изоляции) 0,6—2,26 мм.

При диаметрах меньше 0,8 мм провода вытягиваются, поэтому их стараются не применять. Обмотка из провода с диаметром больше 2,26 мм получается жесткой, особенно при малых габаритах, что затрудняет укладку ее в паз и может вызвать повреждение изоляции как провода, так и пазовой. Для обеспечения укладки обмотки раз-

ница размеров ширины прорези паза и диаметра провода должна быть не менее 0,6—0,7 мм.

Суммарная площадь, занимаемая изоляцией проводов в пазу при увеличении диаметра провода, как правило, уменьшается. Таким образом можно добиться увеличения сечения эффективного проводника на 4—10% (табл. 58).

Алюминиевая обмотка в асинхронном двигателе примерно в два раза легче и на 20—40% дешевле медной. Однако кпд у двигателя с алюминиевой обмоткой ниже, что вызывает перерасход электроэнергии. Дополнительные потери энергии при эксплуатации двигателя с алюминиевой обмоткой превышают экономию, получаемую при замене медной обмотки, поэтому переход на алюминиевую обмотку является вынужденной мерой, вызванной дефицитностью меди.

Обмоточные данные электродвигателей серий А, АО с алюминиевой обмоткой приведены в гл. VII.

Медные обмотки из проводов с эмалевой изоляцией нельзя заменить алюминиевыми с сохранением мощности двигателя. В этом случае перемотку производят по новым обмоточным данным.

Электромагнитные нагрузки для двигателей с алюминиевой обмоткой должны быть снижены на 10—15%. Для двигателей единой серии А2, АО2 число витков рекомендуется увеличивать при переходе с медной на алюминиевую обмотку на 10—15%. Сечение провода должно быть выбрано возможно наибольшим.

Сопротивление алюминиевой обмотки (Ом) можно рассчитать по формуле *

$$r_{\text{ал}} = 1{,}63 r_{\text{м}} \left(\frac{d_{\text{м}}}{d_{\text{ал}}}\right)^2 \frac{n_{\text{эл.м}}}{n_{\text{эл.ал}}},$$

где $r_{\text{м}}$ — сопротивление медной обмотки, Ом; $d_{\text{м}}$, $d_{\text{ал}}$ — диаметры провода медной и алюминиевой обмоток, мм; $n_{\text{эл.м}}$, $n_{\text{эл.ал}}$ — числа элементарных проводников.

Пример. Пересчитать на алюминиевый провод обмотку статора асинхронного двигателя, выполненную из провода ПЭТВ.

Исходные данные при медной обмотке: $P=5{,}5$ кВт; $U=220/380$ В; $d_{\text{м}}=1{,}25$ мм; $n=24\times2$; $a=1$; $F=143$ мм²; $D_{\text{а}}=208$ мм; $r_{\text{м}}=0{,}679$ Ом; паз грушевидный, обмотка однослойная.

Число эффективных проводников в пазу для алюминиевой обмотки

$$N_{\text{ал}} = (1{,}1 \div 1{,}15)\cdot 24 \approx 27.$$

Коэффициент заполнения паза для медной обмотки

$$k_{\text{п}} = 0{,}785 \frac{nD_{\text{м}}^2}{F} = 0{,}785\cdot \frac{48\cdot 1{,}36^2}{143} = 0{,}487,$$

где $D_{\text{м}}=1{,}36$ мм (по табл. 24).

Допустимая величина коэффициента заполнения паза для медной обмотки по табл. 42 $k_{\text{п}}=0{,}46$.

Допустимая величина коэффициента заполнения паза для алюминиевой обмотки исходя из $k_{\text{п}}=0{,}46$

$$k_{\text{п.ал}} = 1{,}08 k_{\text{п}} = 1{,}08\cdot 0{,}46 = 0{,}498.$$

* При сохранении числа параллельных ветвей.

Таблица 58. Увеличение сечения эффективного проводника при уменьшении числа элементарных проводников

Обозначения: d — диаметр провода без изоляции; $n_{эл}$ — число элементарных проводников; ΔS — увеличение сечения эффективного проводника

Заменяемый провод		Заменяющий провод		
d, мм	$n_{эл}$	d, мм	$n_{эл}$	ΔS, %
0,57	2	0,83	1	6
	3	1,00	1	2
0,59	2	0,86	1	6
	3	1,04	1	3
0,62	2	0,90	1	5
	3	1,08	1	1
0,64	2	0,93	1	5
	3	1,12	1	2
0,67	2	0,96	1	3
	3	1,20	1	7
0,69	2	1,00	1	5
	3	1,20	1	1
0,72	2	1,04	1	4
	3	1,25	1	—
0,74	2	1,08	1	6
	3	1,30	1	3
0,77	2	1,12	1	5
	3	1,35	1	2
	4	1,62	1	10
	5	1,82	1	10
	6	1,35	2	3
	6	1,12	3	5
0,80	2	1,16	1	5
	3	1,40	1	3
	4	1,68	1	10
	5	1,88	1	11
	6	1,40	2	2
	6	1,16	3	5
0,83	2	1,20	1	5
	3	1,50	1	9
	4	1,74	1	10
	5	1,95	1	10
0,83	6	1,50	2	9
	6	1,20	3	5
0,86	2	1,25	1	6
	3	1,50	1	2
	4	1,25	2	6
	5	1,40	2	5
	6	1,25	3	6
0,90	2	1,30	1	5
	3	1,62	1	8
	4	1,88	1	9
	5	2,10	1	9
	6	1,62	2	8
	6	1,30	3	5
0,93	2	1,35	1	5
	3	1,62	1	1
	4	1,95	1	10
	5	1,50	2	4
	6	1,35	3	5
	6	1,62	2	1
0,96	2	1,40	1	6
	3	1,68	1	2
	4	1,40	2	6
	5	2,26	1	11
	6	1,68	2	2
	6	1,40	3	6

Заменяемый провод		Заменяющий провод		
d, мм	$n_{эл}$	d, мм	$n_{эл}$	ΔS, %
1,00	2	1,45	1	5
	3	1,81	1	9
	4	2,10	1	10
	5	1,62	2	5
	6	1,81	2	9
	6	1,45	3	5
1,04	2	1,50	1	4
	3	1,88	1	9
	4	1,50	2	4
	5	1,68	2	5
1,08	2	1,56	1	4
	3	1,95	1	9
	4	2,26	1	10
	5	1,74	2	4
1,12	2	1,62	1	5
	3	2,02	1	8
	4	1,62	2	5
	5	1,81	2	4
1,16	2	1,68	1	5
	3	2,10	1	9
	4	1,68	2	5
	5	1,88	2	5
1,20	2	1,74	1	5
	3	2,10	1	2
	4	1,74	2	5
	5	1,95	2	6
1,25	2	1,81	1	4
	3	2,26	1	9
	4	1,81	2	4
	5	2,02	2	4
1,30	2	1,88	1	5
	3	1,62	2	3
	4	1,88	2	5
	5	2,10	2	4
1,35	2	1,95	1	4
	3	1,68	2	4
	4	1,95	2	5
	5	1,81	3	8
1,40	2	2,02	1	4
	3	1,74	2	3
	4	2,02	2	4
	5	2,26	2	4
1,45	2	2,10	1	5
	3	1,81	2	4
	4	2,10	2	5
	5	1,88	3	1
1,50	2	2,10	1	—
	3	1,88	2	5
	4	1,74	3	1
	5	1,95	3	1
1,56	2	2,26	1	5
	3	1,95	2	5
	4	2,26	2	5
	5	2,02	3	1
1,62	3	2,02	2	4
	5	2,10	3	1
1,68	3	2,10	2	4
1,74	3	2,10	2	—
1,81	3	2,26	2	4

Допустимая величина коэффициента заполнения паза для алюминиевой обмотки исходя из $k_п = 0{,}487$

$$k_{п.ал} = 1{,}08 \cdot 0{,}487 = 0{,}527.$$

Принимаем среднее значение коэффициента

$$k_{п.ал} = \frac{0{,}498 + 0{,}527}{2} \approx 0{,}51.$$

Диаметры алюминиевого провода с изоляцией находят по рис. 82 при $k_п = 0{,}4$ (рассчитываем для двух вариантов)

$$\text{при } n_{эл.ал} = 1: \quad D_{ал1} = 1{,}62 \text{ мм};$$

$$\text{при } n_{эл.ал} = 2 \cdot (n = 27 \cdot 2 = 54): \ D_{ал.2} = 1{,}18 \text{ мм}.$$

Диаметры алюминиевого провода с изоляцией при $k_п = 0{,}51$

$$D'_{ал1} = kD_{ал1} = 1{,}13 \cdot 1{,}62 = 1{,}83 \text{ мм};$$

$$D'_{ал2} = kD_{ал2} = 1{,}13 \cdot 1{,}18 = 1{,}33 \text{ мм}.$$

Диаметры алюминиевого провода без изоляции

$$d_{ал1} = 1{,}74 \text{ мм}; \quad d_{ал2} = 1{,}25 \text{ мм — по табл. 24}.$$

Сопротивление алюминиевой обмотки

$$\text{при } n_{эл.ал} = 1: \ r_{ал1} = 1{,}63 \cdot 0{,}679 \left(\frac{1{,}25}{1{,}74}\right)^2 \cdot \frac{2}{1} = 1{,}14 \text{ Ом};$$

$$\text{при } n_{эл.ал} = 2: \ r_{ал2} = 1{,}63 \cdot 0{,}679 \left(\frac{1{,}25}{1{,}25}\right)^2 \cdot \frac{2}{2} = 1{,}11 \text{ Ом}.$$

Ток в фазе обмотки статора (рассчитываем для $n_{эл\,ал} = 1$. При $n_{эл\,ал} = 2$ он будет немного выше)

$$I_{ф.ал} = j_{ал} S_{эл.ал} n_{эл.ал} a = 4 \cdot 2{,}38 \cdot 1 \cdot 1 = 9{,}5 \text{ А},$$

где $j_{ал} = 4$ А/мм² — плотность тока в алюминиевой обмотке (берем на 10—15% ниже значений, указанных в табл. 50); $a = 1$ — число параллельных ветвей оставляем неизменным;

$$S_{эл.ал} = 2{,}38 \text{ мм}^2 \text{ — по табл. 22}.$$

Мощность при алюминиевой обмотке

$$P_{ал} = (0{,}92 : 0{,}94) \cdot 4{,}3 \approx 4 \text{ кВт — по рис. 84}.$$

Перерасчет алюминиевой обмотки статора асинхронного двигателя на медную связан с увеличением величины магнитной индукции в воздушном зазоре. Число эффективных проводников в пазу для медной обмотки должно быть уменьшено

$$N_м \approx (0{,}87 \div 0{,}91) N_{ал}.$$

При расчете необходимо проверить $N_м$ и величины индукций в участках магнитной цепи. Формулы для расчета обмоточных данных медной обмотки статора асинхронного двигателя приведены ранее.

Мощность электродвигателя при изменении материала токопроводящей жилы обмоточного провода, как и при расчете обмоточных проводов, окончательно уточняют при проведении испытаний двигателя после ремонта.

V. СХЕМЫ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

38. ЯКОРНЫЕ ОБМОТКИ (ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ)*

Обмотка якоря состоит из секций. Секция представляет собой наименьшую часть обмотки, заключенную между двумя присоединениями к коллектору. Секция может состоять из одного, двух или нескольких витков. Активные стороны одной секции располагаются под разными полюсами на расстоянии, обычно равном или несколько меньшем полюсного деления.

Полюсное деление — часть окружности якоря, приходящаяся на один полюс. Величина полюсного деления (см)

$$\tau = \frac{3,14D}{2p},$$

где D — диаметр якоря, см; $2p$ — число полюсов.

В зависимости от формы секций различают волновые, петлевые и комбинированные (лягушечьи) обмотки. Волновые и петлевые обмотки в зависимости от шага по коллектору могут быть простыми и сложными. Сложные обмотки называют также многоходовыми.

Волновые и петлевые якорные обмотки обычно выполняют двухслойными **, присоединяя к каждой коллекторной пластине выводы двух секций. Следовательно, число секций обмотки S равно числу коллекторных пластин K. В пазу якоря может быть расположено две, четыре, шесть и более сторон секций. Каждая пара расположенных друг над другом сторон образует элементарный паз, число которых в реальном пазу обозначается $u_п$. Число элементарных пазов якоря равно произведению числа пазов z на $u_п$ и равно числу секций, т. е. $z_э = zu_п = S = K$ ***.

Лягушечья обмотка укладывается в пазах якоря в четыре слоя, причем волновая обмотка охватывает петлевую (одна сторона секции волновой обмотки располагается у клина, вторая — на дне паза).

В зависимости от взаимного расположения выводов секций различают также неперекрещенные и перекрещенные обмотки (рис. 89, 90).

Катушкой якорной обмотки называют группу секций, образующих элемент обмотки до укладки в пазы. Катушка состоит из одной или нескольких секций, обычно имеющих общую корпусную изоляцию. Число секций в каждой стороне катушки равно числу элементарных пазов в реальном пазу якоря. Часть катушки, расположенную вне пазов, называют лобовой частью. Различают лобовую часть со стороны коллектора и с противоположной стороны.

При большом сечении шин катушки для облегчения укладки выполняют из двух частей (полукатушек). Секция в этом случае имеет обычно один виток и состоит из двух полусекций (стержней). Такая обмотка называется стержневой. Переход из верхнего слоя в нижний осуществляется при помощи хомутиков, надеваемых на концы стержней и припаиваемых к ним.

---

* Схемы разметки якоря см.: Виноградов Н. В. Обмотчик электрических машин. — М.: Высшая школа, 1977.

** В очень редких случаях для низковольтных машин на большие токи применяют однослойные обмотки.

*** Исключение из этого правила составляет обмотка с «мертвой» секцией.

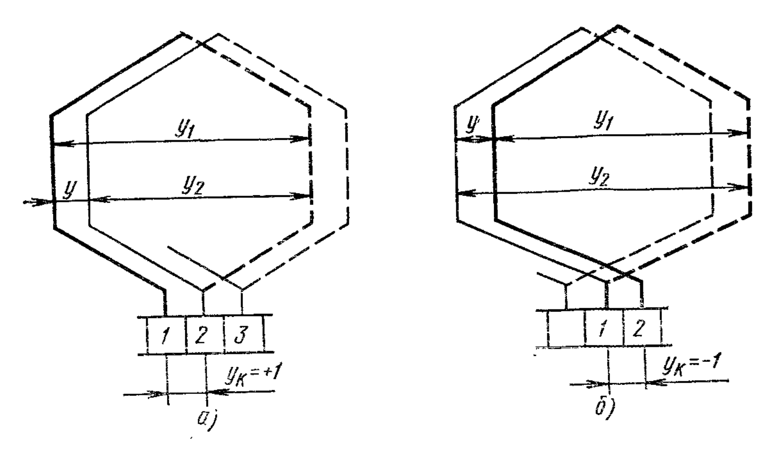


Рис. 89. Простая петлевая обмотка:
а — неперекрещенная (правая), *б* — перекрещенная (левая)

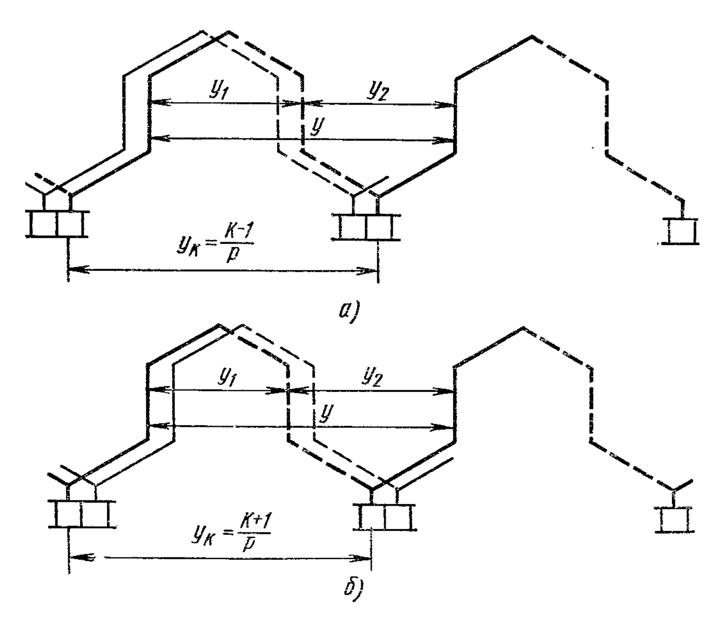


Рис. 90. Простая волновая обмотка:
а — неперекрещенная (левая), *б* — перекрещенная (правая)

Таблица 59. Шаги, числа параллельных ветвей и условия симметрии петлевых и волновых обмоток

Тип обмотки	y_1	y_2	$y=y_к$	$2a$	Условия симметрии обмотки
Простая петлевая	$\frac{z_э}{2p} \pm \xi$	$y_1 \pm 1$	± 1	$2p$	$\frac{K}{p}$ = целое число $\frac{z}{p}$ = целое число
Сложная петлевая		$y_1 \pm m$	$\pm m$	$m2p$	$\frac{K}{p}$ = целое число, не кратное m $\frac{z}{p}$ = целое число, не кратное m $u_п$ = целое число, не кратное m
Простая волновая		$y-y_1$	$\frac{K \mp 1}{p}$	2	$u_п = \frac{K}{z}$ = целое число *
Сложная волновая		$y-y_1$	$\frac{K \mp a}{p}$	$2m$	$\frac{z}{a}$ = целое число $u_п = \frac{K}{z}$ = целое число $\frac{2p}{a}$ = целое число

* Находит применение несимметричная простая волновая обмотка с «мертвой» секцией, для которой принимают $\frac{K+1}{z}$ = целое число.

Примечание. y_1 — первый шаг — расстояние между сторонами одной и той же секции (ширина секции). Обычно выполняются обмотки с первым шагом $y_1 \leqslant \tau$; y_2 — второй шаг — расстояние между второй стороной данной секции и первой стороной следующей за ней по схеме секции; y — результирующий шаг — расстояние между верхними или нижними сторонами двух следующих друг за другом по схеме секций; $y_к$ — шаг по коллектору — расстояние между началом и концом секции, измеренное числом коллекторных делений; $2a$ — число параллельных ветвей; m — коэффициент кратности, равный числу простых обмоток, составляющих сложную; ξ — наименьшее дробное число, которое надо вычесть или прибавить, чтобы частное от деления числа элементарных пазов на число полюсов равнялось целому числу.

Шаги обмотки y_1, y_2 и y обычно выражают числом секций или элементарных пазов (табл. 59). Шаг по коллектору измеряют числом коллекторных пластин, а шаг по пазам y_z — числом пазов. Полюсное деление τ также может быть выражено числом элементарных пазов:

$$\tau_{эл} = \frac{z_{эл}}{2p}.$$

Якорные обмотки должны удовлетворять требованиям симметрии, поэтому соотношения между $u_п$, z, a и K должны иметь определенные значения (см. табл. 59). В сложной волновой обмотке выбор $u_п$ и z еще более ограничен (табл. 60).

Таблица 60. **Значение $u_п = \frac{K}{z}$ для симметричных волновых обмоток**

a	Значения $u_п$ при числе пар полюсов									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
1	3,5	2,4,5	3,5	2,3,4	5	2,3,4,5	3,5	2,4,5	3	5
2	—	2,4,5	3,5	2,3,4	2,4,5	2,3,4,5	3,4	2,4,5	2,3,4	5
3	—	—	—	—	3,5	—	—	2,4,5	—	3,5
4	—	—	—	—	—	—	3,5	—	—	2,4,5
5	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5

В симметричных обмотках якоря параллельные ветви имеют одинаковое число витков, равные сопротивления и располагаются в одинаковых магнитных условиях, что создает необходимые предпосылки для равенства эдс и токов в них. Однако даже при соблюдении условий симметрии (см. табл. 59) эдс могут быть неодинаковыми из-за магнитной асимметрии — разных магнитных потоков под полюсами. Магнитная асимметрия возникает из-за неодинаковых воздушных зазоров под полюсами при износе подшипников, несимметричного расположения щеток на коллекторе и неоднородности материалов магнитной цепи. Небольшая разница воздушных зазоров может быть и в новых машинах из-за допусков на изготовление деталей.

Магнитная асимметрия вызывает неравенство эдс в параллельных ветвях. Сопротивления параллельных ветвей также практически всегда бывают неодинаковыми из-за неравенства сопротивлений между щетками и коллекторными пластинами. Вследствие этого даже в симметричных обмотках возникают уравнительные токи, которые протекают по проводам обмоток и через щетки, вызывая перегрев обмотки и искрение под щетками. Чтобы уравнительные токи не проходили по обмотке и через щетки, равнопотенциальные точки обмоток соединяют медными проводниками, которые называются уравнительными соединениями. Эти соединения, создавая пути для уравнительных токов, уменьшают их вредное влияние на обмотку и щетки.

В машинах постоянного тока в зависимости от типа обмотки применяют уравнительные соединения первого, второго и третьего родов или их сочетания.

При $u_п>1$ обмотка якоря может быть равносекционной и ступенчатой. Секции первой имеют одинаковую ширину. Расположенные в одних и тех же пазах секции равносекционной обмотки изолируют совместно, образуя катушку. В ступенчатой обмотке верхние стороны секций лежат в одном пазу, а нижние — в двух разных пазах. Ступенчатая обмотка применяется для улучшения коммутации электрической машины. Для получения равносекционной обмотки должно быть выполнено условие $y_1=y_z u_п$, где y_z — шаг по пазам — расстояние между сторонами катушки. Ступенчатыми могут быть как петлевые, так и волновые обмотки.

§ 39. ПРОСТАЯ ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА ЯКОРЯ

Простая петлевая обмотка (рис. 91) характерна тем, что в ней начало и конец секции присоединяются к двум рядом лежащим коллекторным пластинам, а начало каждой последующей секции соединяется с концом предыдущей. Конец последней секции соединяется с началом первой, образуя замкнутую обмотку.

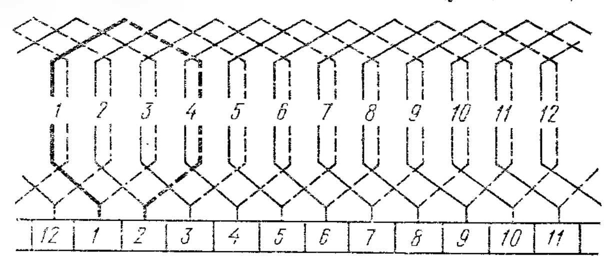


Рис. 91. Простая петлевая обмотка при $2p=4$, $y_1=3$, $y=1$, $K=12$

В зависимости от величины ξ (см. табл. 59) различают обмотки: с полным или диаметральным шагом, с укороченным шагом и удлиненным шагом. В первой $\xi=0$ и $y_1=\tau_{эл}$, во второй величина ξ вычитается ($y_1<\tau_{эл}$), в третьей прибавляется ($y_1>\tau_{эл}$). Предпочитают применять обмотки с укороченными шагом (знак минус в формуле для шага y_1), так как они имеют меньшую длину лобовой части и при определенном небольшом укорочении оказывают благоприятное влияние на коммутацию машины.

Перекрещенная (левая) петлевая обмотка получается при отрицательном результирующем шаге $y=y_1-y_2=-1$ (второй шаг больше первого). В этом случае направление движения от одной стороны катушки к другой ее стороне при обходе обмотки по схеме противоположно направлению движения по коллектору (см. рис. 89). Такую петлевую обмотку называют поэтому еще и обратноходовой. Неперекрещенная или прямоходовая (правая) петлевая обмотка получается при положительном результирующем шаге. Преимущественное применение имеют неперекрещенные обмотки, так как они проще, на их изготовление требуется меньше меди. В простых петлевых обмотках число щеточных пальцев на траверсе всегда равно числу полюсов.

40. СЛОЖНАЯ ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА ЯКОРЯ

Сложная петлевая обмотка применяется для увеличения числа параллельных ветвей обмотки якоря и характеризуется коэффициентом кратности m, определяющим число простых петлевых обмоток, из которых составляется сложная.

Наиболее распространены сложные петлевые обмотки, у которых коэффициент кратности равен двум, реже трем. При четном числе коллекторных пластин и $y_к = m = 2$ получается двукратнозамкнутая обмотка (рис. 92), состоящая из двух одинаковых независимых обмоток, при нечетном — двухходовая однократнозамкнутая (рис. 93).

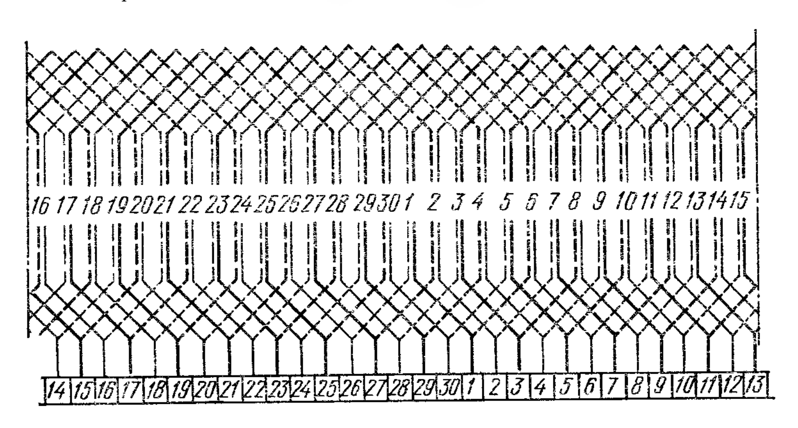


Рис. 92. Двукратнозамкнутая петлевая обмотка при $2p=4$, $y_1=7$, $y_2=5$; $y=2$, $K=30$

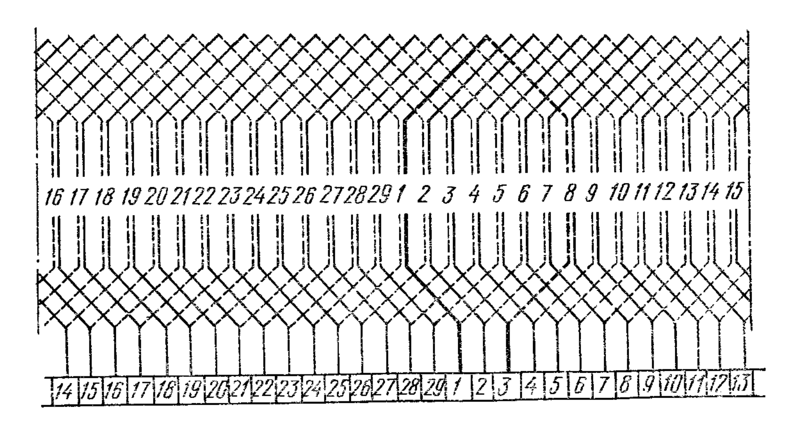


Рис. 93. Двухходовая однократнозамкнутая петлевая обмотка при $2p=4$, $y_1=7$, $y_2=5$, $y=2$, $K=29$

В машинах со сложными петлевыми обмотками щетка должна перекрывать не менее m коллекторных делений, т. е. столько пластин, сколько простых обмоток содержится в сложной. В этом случае простые петлевые обмотки будут соединены параллельно.

41. ПРОСТАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА ЯКОРЯ

В простой волновой обмотке (см. рис. 1) коллекторные пластины, к которым присоединяются концы секции, располагаются на расстоянии двойного полюсного деления. Волновые обмотки также мо-

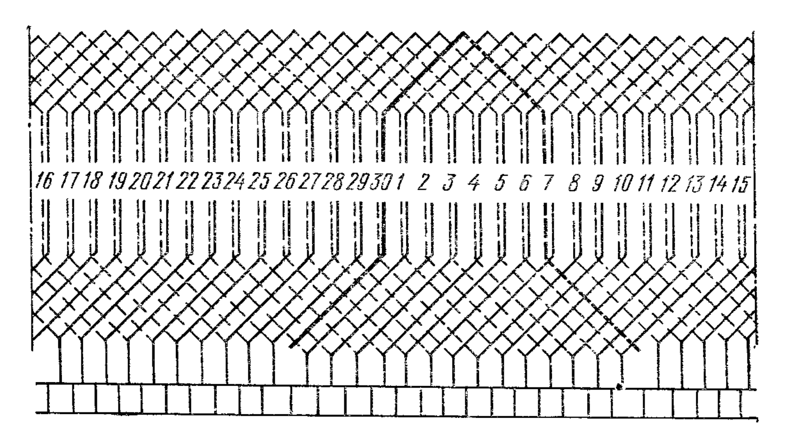


Рис. 94. Простая волновая обмотка с мертвой секцией при $2p=4$, $y_1=7$, $y_2=7$, $y=14$, $K=29$

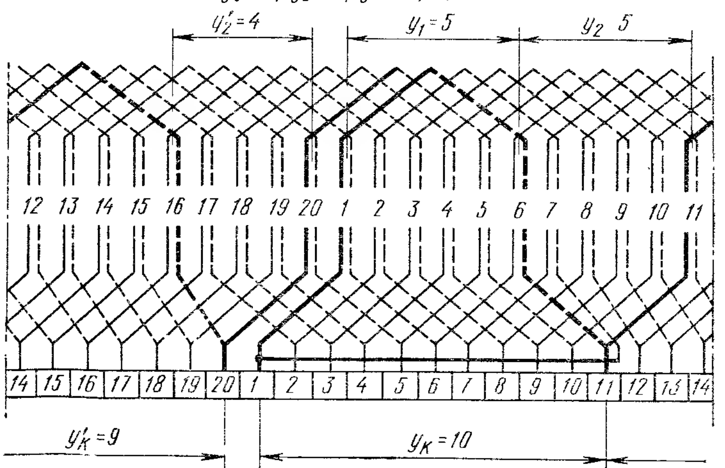


Рис. 95. Искусственно-замкнутая волновая обмотка при $2p=4$, $y_1=5$, $y_2=5$, $y_к=10$, $y_к'=9$

гут быть перекрещенными и неперекрещенными (см. рис. 90). Неперекрещенная обмотка получается при разных направлениях обхода по якорю и коллектору и является поэтому обратноходовой. В прямоходовой волновой обмотке выводы секций перекрещиваются. В простой волновой обмотке для отвода тока достаточно иметь два комплекта щеток, расположенных на двух щеточных пальцах. Если необходимо уменьшить ток, приходящийся на щетку, то число щеточных пальцев берется равным числу главных полюсов машины. В простой волновой обмотке напряжение на зажимах машины получается относительно большим в результате большого числа последовательно соединенных секций.

Простая волновая обмотка, как показывает формула для определения результирующего шага (см. табл. 59), не может быть выполнена при любых значениях K и p. Например, чтобы шаг $y=y_к$ был выражен целым числом при четном числе пар полюсов, число коллекторных пластин должно быть нечетным. Если же оно четное, то одну секцию оставляют свободной (не присоединяют к коллектору), а число коллекторных пластин уменьшают на одну, получается обмотка с мертвой секцией (рис. 94). В ней при отсчете по якорю второго шага следует не учитывать те элементарные пазы, в которых расположена одна любая из сторон мертвой секции. Такая обмотка применяется для унификации числа пазов сердечников якорей. Если необходимо использовать коллектор, число пластин которого не позволяет получить для шага $y_к$ целого числа (например, $2p=4$, $z=12$, $u_п=2$ и $K=84$), применяют так называемую искусственно-замкнутую волновую обмотку. Результирующий шаг и шаг по коллектору в этой обмотке имеют два значения. Вторые значения $y'=y'_к$ вычисляются из предположения, что число коллекторных пластин и секций на единицу больше (к числу K в формуле добавляется единица). Второй шаг в искусственно-замкнутой простой волновой обмотке также имеет два значения, так как он равен разности $y_2=y-y_1$. При выполнении обмотки (рис. 95), начиная от коллекторной пластины 1, к которой присоединяется перемычка, чередуют шаги по коллектору $y_к$ и $y'_к$. Оставшийся после полного обхода обмотки конец секции присоединяют перемычкой к пластине 1.

42. СЛОЖНАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА ЯКОРЯ

Сложная волновая обмотка, как и сложная петлевая, характеризуется коэффициентом кратности m, равным числу простых волновых обмоток, составляющих данную сложную волновую обмотку. Каждый обход в сложной волновой обмотке заканчивается на пластине, лежащей не рядом с исходной, как в простой волновой, а на пластине, отстоящей на m коллекторных делений. Многократнозамкнутая волновая обмотка (рис. 96) получается, когда шаг $y_к$ и число пар параллельных ветвей $a=m$ имеют наибольший делитель t. При этом обмотка будет состоять из t однократнозамкнутых обмоток. Однократнозамкнутая обмотка получается при $t=1$. Наиболее распространены двукратнозамкнутые обмотки ($t=2$). Они находят применение в многополюсных машинах повышенного напряжения. В сложных волновых обмотках, как и в сложных петлевых, щетка должна перекрывать не менее m коллекторных пластин.

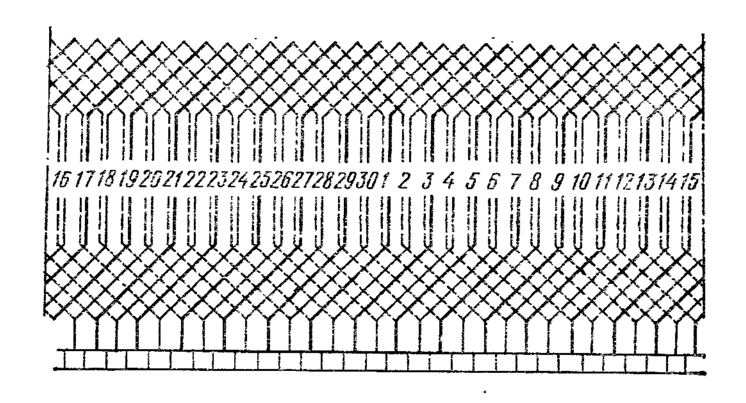


Рис. 96. Двухкратнозамкнутая волновая обмотка при $2p=4$, $y_1=7$, $y_2=7$, $y=14$

43. ЛЯГУШЕЧЬЯ ОБМОТКА ЯКОРЯ

Лягучешья обмотка представляет собой две параллельно соединенные обмотки (петлевую и сложную волновую), уложенные в одни и те же пазы якоря в четыре слоя. К каждой коллекторной пластине присоединяются по четыре проводника — по два от каждой обмотки. Число параллельных ветвей, а также число секций и последовательно соединенных проводников в обеих обмотках должны быть одинаковыми, так как каждая обмотка служит для проведения половины тока якоря. Из условия равенства числа параллельных ветвей выбирают соответствующие коэффициенты кратности для петлевой и волновой обмоток. Сумма шагов по коллектору петлевой и волновой обмоток, составляющих лягушечью, должна удовлетворять соотношению

$$y_{кп}+y_{кв}=\frac{K}{p}.$$

На рис. 97 изображены схемы лягушечьей обмотки при $2p=4$, $z=40$, $u_п=1$, $K=u_пz=1\cdot40=40$, $a_п=a_в=1$. Для схемы рис. 97, *а* шаги петлевой обмотки $y_{1п}=10$, $y_{2п}=9$, $y_{кп}=1$; шаги волновой обмотки $y_{1в}=10$, $y_{2в}=9$, $y_{кв}=19$. В схеме рис. 97, *б* первые шаги петлевой и волновой обмоток уменьшены на пазовое деление; $y_{1п}=9$, $y_{1в}=9$. Вторые шаги при этом получаются $y_{2п}=8$, $y_{2в}=10$. Шаг по коллектору не изменяется. Вторая схема предложена Латуром-Перре и может быть получена при $z/2p=$целое число. Она способствует улучшению коммутации машины.

Шаги лягушечьей обмотки по схеме рис. 97, *а* могут быть определены следующим образом. Находят шаги петлевой обмотки, наносят на чертеже две ее секции *А* и *С*, сдвинутые друг относительно друга на 2 τ. Затем коллекторную пластину *2*, к которой присоединен конец секции *А*, соединяют секцией *В* волновой обмотки с началом сек-

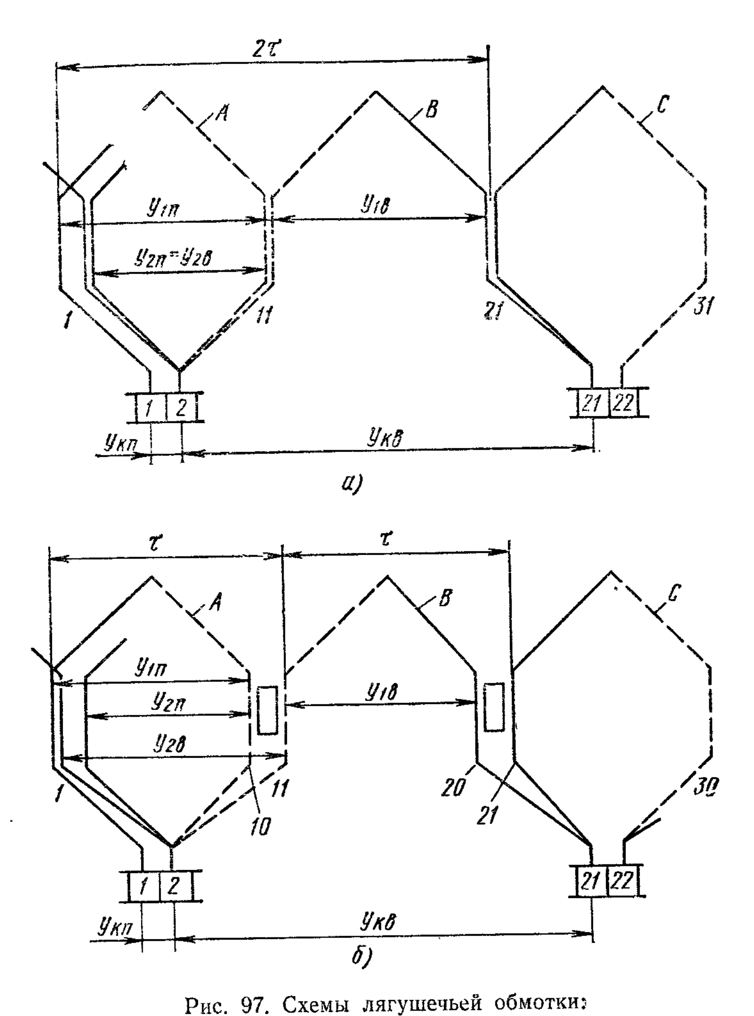


Рис. 97. Схемы лягушечьей обмотки:

а — при $y_{1п}=10$, $y_{2п}=9$; $y_{1в}=10$, $y_{2в}=9$; *б* — при $y_{1п}=9$, $y_{2п}=8$, $y_{1в}=9$ $y_{2в}=10$

ции *С*. Секцию *В* располагают в тех же пазах, где лежат секции петлевой обмотки. По данным полученного чертежа определяют шаги волновой обмотки $y_{1в}$, $y_{2в}$ и $y_{кв}$. Полученный из чертежа шаг по коллектору проверяют по формуле (см. табл. 59). В данном случае

$$y_{кв}=\frac{K\mp a}{p}=\frac{40-2}{2}=19.$$

44. СХЕМЫ РУЧНЫХ ОБМОТОК ЯКОРЯ

Среди ручных обмоток, применяемых для якорей, можно выделить три типа: простая ручная, «в елочку» и юбочная.

Обмотку «в елочку» называют также иногда двуххордовой, так как у нее секции разделены на две равные части (две полусекции), образующие на виде с торца две хорды, расходящиеся из одного паза. Число сторон секций в пазу якоря при ручной обмотке может быть равно двум (при $u_п=1$) и более (при $u_п=2$ и более).

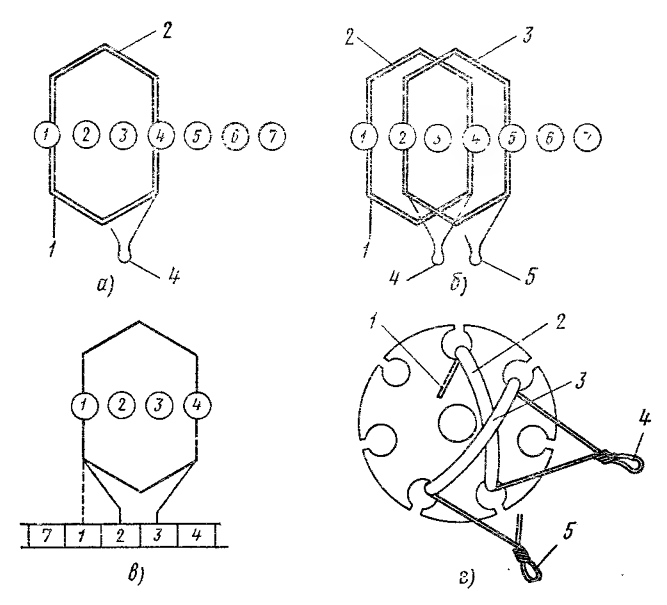


Рис. 98. Простая ручная обмотка при $u_п=1$:

а — намотка первой секции и образование петли для намотки второй секции, *б* — намотка второй секции, *в* — рабочая схема, *г* — вид с торца; *1* — начало намотки, *2* — первая секция, *3* — вторая секция, *4* — первая петля, *5* — вторая петля

Простая ручная обмотка при $u_п=1$ наматывается следующим образом. Вначале наматывается первая секция *2* (рис. 98, *а*), затем делается петля *4* для присоединения к коллектору, после чего наматывается вторая секция (рис. 98, *б*, *г*) в рядом лежащие пазы, делается петля *5* и т. д. При четырех сторонах в пазу ($u_п=2$) вторая секция наматывается в те же пазы, что и первая (рис. 99), причем петли для присоединения к коллектору делают после намотки каждой секции.

При обмотке «в елочку» каждая секция разбивается на две полусекции. Сначала наматывают первую полусекцию обмотки (рис. 100, *а*), затем переходят в следующий по шагу паз (7-й паз на рис. 100, *б*) и наматывают вторую полусекцию *4*. После образования

петли 5 наматывают подобным же образом следующие секции. При $u_п=2$ вторая секция наматывается в те же пазы, что и первая. Число витков в полусекции при обмотке «в елочку» определяется делением общего числа витков в пазу на $4\,u_п$. Например, при общем числе витков в пазу 72 и $u_п=2$ число витков в полусекции

$$\frac{72}{4 \cdot 2} = 9.$$

Рабочие схемы обмоток «в елочку» при $u_п=2$ представлены на рис. 101. При скосе пазов пакета якоря разметка ручных обмоток, так же как и шаблонных, производится по среднему сечению пакета.

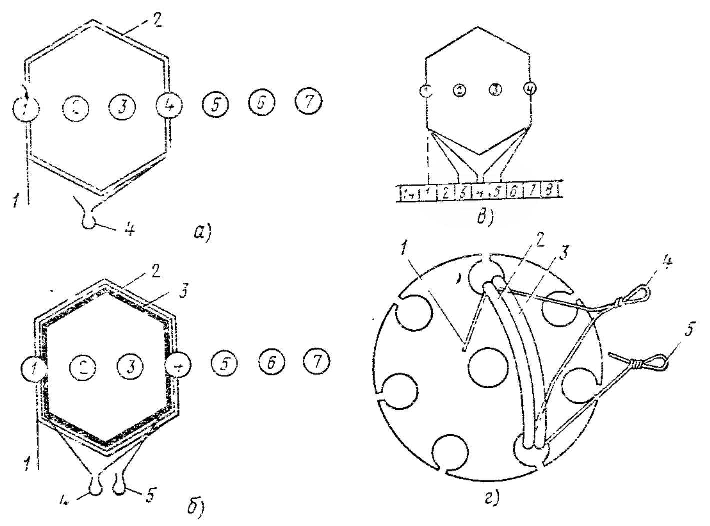


Рис. 99. Простая ручная обмотка при $u_п=2$:

а — намотка первой секции и образование петли для намотки второй секции, *б* — намотка второй секции, *в* — рабочая схема, *г* — вид с торца; *1* — начало намотки, *2* — первая секция, *3* — вторая секция, *4* — первая петля, *5* — вторая петля

Юбочная обмотка применяется при небольшом числе витков в секции (обычно не более трех). Для ее намотки заранее отрезают от бухты куски проводов, число которых должно быть равно числу секций. Длина каждого куска провода должна быть равна развернутой длине секции. Концы всех отрезанных проводов *2* (рис. 102) закладывают в пластины коллектора *1*, провода изгибают и укладывают в пазы в соответствии со схемой обмотки. По выходе из паза со стороны, противоположной коллектору, все провода одновременно опять изгибают, на них накладывают для закрепления бандаж *4* из чулка. Затем со стороны, противоположной коллектору, провода изгибают вокруг бандажа *4*, образуют лобовую часть, после чего их укладывают в пазы в соответствии с шагом обмотки по-

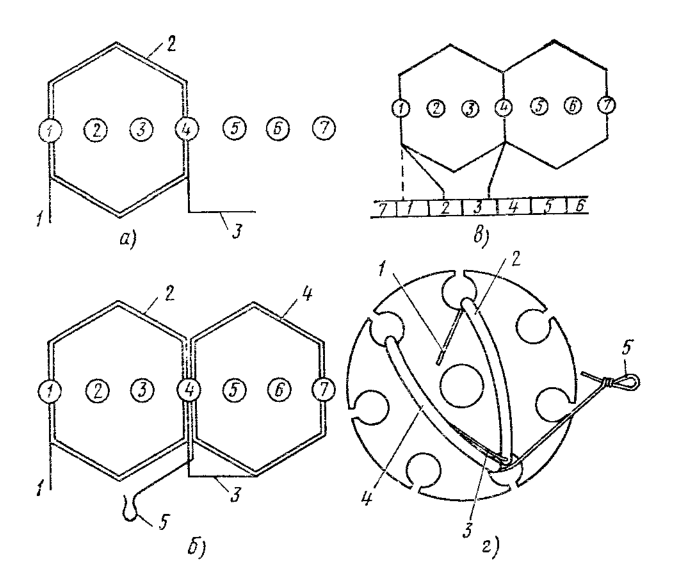


Рис. 100. Ручная обмотка «в елочку»:

а — намотка первой полусекции и переход для намотки второй полусекции, *б* — намотка второй полусекции и образование петли, *в* — рабочая схема, *г* — вид с торца; *1* — начало намотки, *2* — первая полусекция, *3* — переход к второй полусекции, *4* — вторая полусекция, *5* — петля

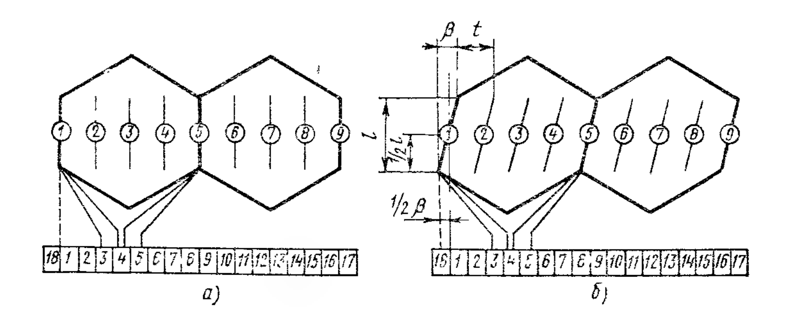


Рис. 101. Рабочая схема обмотки «в елочку» при $u_п=2$:

а — без скоса пазов, *б* — со скосом пазов на ½ пазового деления

верх уже находящихся там проводов первого слоя. Таким образом, получается петля *3* (юбка) со стороны, противоположной коллектору, и образуется первый виток.

Для получения второго витка провод со стороны коллектора изгибают, закрепляют бандажом *5* и вторично укладывают в те же пазы с изгибом и закреплением лобовой части новым бандажом с противоположной стороны. Операции изгиба и бандажировки повто-

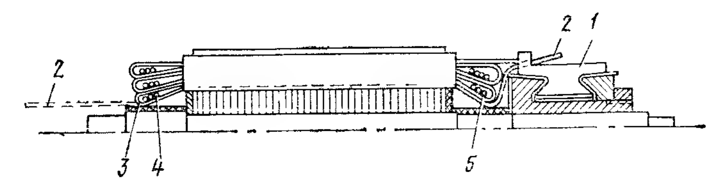


Рис. 102. Юбочная обмотка:

1 — пластина коллектора, *2* — провода, *3* — петля, *4*, *5* — бандажи

ряют столько раз, сколько витков в секции. После намотки всех витков концы проводов закладывают в шлицы коллектора в соответствии со схемой обмотки.

Число петель (юбок) обмотки на стороне, противоположной коллектору, равно числу витков, а со стороны коллектора — на один меньше.

Юбочные обмотки выполняют, как петлевые и как волновые. Их схемы ничем не отличаются от обычных шаблонных обмоток.

VI. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН *

45. ИЗОЛЯЦИЯ ВСЫПНЫХ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В асинхронных двигателях и синхронных генераторах мощностью до 100 кВт статорные обмотки обычно выполняются из круглого провода (табл. 61).

Примерные спецификации изоляции для классов нагревостойкости *A*, *E*, *B*, *F* и *H* приведены в табл. 62—64.

В электродвигателях старых выпусков (до внедрения электродвигателей единых серий) применялся провод марки ПБД. Он имеет большую толщину изоляции, значительно снижающую коэффициент заполнения паза.

---

* Подробнее см.: Бернштейн Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения. — М.: Энергия, 1971.

Таблица 61. Марки проводов для всыпных обмоток статоров асинхронных и синхронных машин мощностью до 100 кВт и якорей коллекторных машин мощностью до 9 кВт

Исполнение	Марка провода при классе нагревостойкости изоляции				
	A	*E*	*B*	*F*	*H*
Нормальное	ПБД, ПЭЛШКО, ПЭЛБО, ПЭЛШО, ПЭВ-2	ПЭТВ, ПСД, ПСДТ	ПЭТВ, ПСД, ПСДТ	ПСД, ПЭТ-155, ПСДТ	ПСДК, ПСДКТ
Усиленно-влагостойкое и тропическое	ПЭВ-2, ПСД, ПЭЛШКО, ПСДТ	ПЭТВ, ПСД, ПСДТ	ПЭТВ, ПСД, ПСДТ	ПСД, ПЭТ-155, ПСДТ	ПСДК, ПСДКТ
Химостойкое	ПСД, ПСДТ,	ПСД, ПСДТ	ПСД, ПСДТ	ПСД, ПСДТ	ПСДКТ, ПСДК

В первой единой серии А и АО асинхронных электродвигателей обмотка статора выполнена в заводском изготовлении проводами марок:

ПЭЛБО для электродвигателей А 3—9-го габаритов и АО 3—5-го габаритов;

ПСД для электродвигателей АО 6—9-го габаритов.

В электродвигателях второй единой серии А2 и АО2 применены провода марок:

ПЭТВ для 1—9-го габаритов при нормальном исполнении и 1—5-го габаритов при влагоморозостойком и тропическом исполнениях;

ПСДТ для 1—9-го габаритов при химостойком исполнении;

ПСД для 6—9-го габаритов при влагоморозостойком и тропическом исполнениях.

В электродвигателях серии 4А основного исполнения для обмотки статора применяются провода марок:

ПЭТВМ, ПЭТВ при высоте оси вращения 50—132 мм (класс изоляции *B*);

ПЭТМ, ПЭТ-155 при высоте оси вращения 160—250 мм (класс изоляции *F*). Провода марок ПЭТВ и ПЭТ-155 применяют при немеханизированном изготовлении статоров.

Для выводов от обмоток в электродвигателях единых серий применяют провода марок:

ПРГ, ПРГБ и ЛПРГС для класса нагревостойкости *A*;

ЛПЛ и ПВПО для класса нагревостойкости *E*;

ПВКФ, ПВКФУ, РКГМ и ПВБЛ для класса нагревостойкости *B*;

ПВКФ, ПВКФУ, РКГМ, ПТЛ-200 для класса нагревостойкости *F*.

Пазовая изоляция (пазовая коробочка) электродвигателей старых выпусков и серий А и АО выполнялась заводами-изготовителями из двух слоев электрокартона толщиной по 0,2 мм и проложен-

Таблица 62. **Изоляция статорных обмоток асинхронных двигателей и синхронных генераторов мощностью 1—7 кВт**

Изоляция пазов статора при однослойной всыпной обмотке	Позиции на рисунке	Изоляция класса *A*, нормальное исполнение		Изоляция класса *E*, нормальное исполнение		Изоляция классов *B*, *F* и *H*, все исполнения				
		Наименование и марки	Толщина, мм	Наименование и марка	Толщина, мм	Наименование	Марка при классе			Толщина, мм
							B	*F*	*H*	
	1	Стеклолакоткань ЛСЛ-105/120	0,2	Пленкоэлектрокартон	0,27	Стеклолакоткань	ЛСБ-120, 130	ЛСП-130 155	ЛСП-130 155	0,15
	2	Электрокартон ЭВ	0,2	—	—	Гибкий стекломиканит*	$Г_2$ФГП	$Г_2$ФЭП	$Г_2$ФКП	0,3
	3	Электрокартон ЭВ	0,5	Пленкоэлектрокартон	0,27	Стеклотекстолит	СТ	СТЭФ	СТК	0,5
	4	Клин из бука или березы	Не менее 2,5	Клин из текстолита марки В	Не менее 2,5	Клин из стеклотекстолита	СТ	СТЭФ	СТК	Не менее 2,5

* Для машин нормального исполнения допускается применять гибкие слюдиниты марки $Г_2$СП при классе нагревостойкости *B* и марки $Г_2$СК при классе *F*.

Примечание. Изоляция в лобовых частях между катушками — пленкоэлектрокартон при классах нагревостойкости *A* и *E* и лакостекломиканит соответствующей марки при классах *F* и *H*. Вязка соединений схемы обмотки — тафтяная лента толщиной 0,25 мм при классе нагревостойкости *A*, стеклянная лента ЛЭС толщиной 0,1 мм или стеклочулок марки АСЭЧ (б) при классах *B*, *F* и *H*.

Таблица 63. **Пазовая изоляция статорных обмоток асинхронных двигателей и синхронных генераторов мощностью 10—100 кВт**

Изоляция пазов статора при двухслойной всыпной обмотке	Позиции на рисунке	Изоляция класса E, нормальное исполнение: Наименование и марка	Толщина, мм	Изоляция класса B, нормальное исполнение: Наименование и марка	Толщина, мм	Изоляция класса F, нормальное исполнение: Наименование и марка	Толщина, мм	Изоляция класса H, тропическое исполнение: Наименование и марка	Толщина, мм
	1	Пленкоэлектрокартон	0,27	Электрокартон ЭВ	0,2	Электронит	0,2	Стеклолакоткань ЛСК-155/180	0,15
	2	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,17	Гибкий слюдинит $Г_2СП$	0,2	Гибкий стекломиканит $Г_2ФГП$	0,35	Гибкий стекломиканит $Г_2ФКП$	0,35
	3	—	—	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,17	Стеклолакоткань ЛСП-130/155	0,15	Стеклолакоткань ЛСК-155/180	0,15
	4	Пленкоэлектрокартон	0,27	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостекломиканит	0,5
	5	Пленкоэлектрокартон	0,27	Стеклотекстолит СТ	0,5	Стеклотекстолит СТЭФ	0,5	Стеклотекстолит СТК	0,5
	6	Клин из бука или березы	Не менее 3,0	Клин из стеклотекстолита СТ	Не менее 2,5	Клин из стеклотекстолита СТЭФ	Не менее 2,5	Стеклотекстолит СТК	Не менее 2,5

Таблица 64. **Изоляция лобовых частей статорных обмоток асинхронных двигателей и синхронных генераторов мощностью 10—100 кВт (см. рис. 103)**

Позиции на рис. 103	Изоляция класса *E*, нормальное исполнение		Изоляция класса *B*, нормальное исполнение		Изоляция класса *F*, нормальное исполнение		Изоляция класса *H*, тропическое исполнение	
	Наименование и марка	Толщина, мм	Наименование и марка	Толщина, мм	Наименование и марка	Толщина, мм	Наименование и марка	Толщина, мм
1	Электрокартон ЭВ	1,0	Электрокартон ЭВ	1,0	Электронит	1,0	Электронит	1,0
2	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостекломиканит	0,5
5	Пленкоэлектрокартон	0,27	То же	0,45	То же	0,45	То же	0,5
7	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,17	Стеклолакоткань ЛСП-130/155	0,15	Микалента ЛФС-ТТ	0,13	Микалента ЛФК-ТТ	0,17

Примечания: 1. Позиция *1* — кольцевая прокладка накладывается не менее чем в два слоя. Позиции *3* и *4* — стеклянная лента ЛЭС толщиной 0,1 мм. Позиция *6* — стеклочулок АСЭЧ (*б*) для всех классов изоляции.

2. В варианте рис. 103, *б* лобовые части фазных катушек изолируются одним слоем ленты *7* вполнахлеста и поверх одним слоем стеклянной ленты ЛЭС толщиной 0,1 мм.

кого между ними слоя лакоткани толщиной 0,2 мм. Равноценным заменителем служит коробочка из двух слоев пленкоэлектрокартона толщиной 0,27—0,3 мм на полиэтилентерефталатной или триацетатной пленке.

Для более ответственных и особенно для электродвигателей серий А и АО нагревостойкого исполнения один слой электрокартона заменяют гибким миканитом или гибким слюдинитом, а вместо лакоткани применяют стеклолакоткань или лавсановую пленку.

В электродвигателях серии АО2 — 1—5-го габаритов нормального исполнения пазовая изоляция выполнена из одного слоя пленкоэлектрокартона толщиной 0,27 мм на полиэтилентерефталатной пленке, а в электродвигателях 6—9-го габаритов — из электронита толщиной 0,2 мм в сочетании с гибким миканитом ГФС толщиной 0,2 мм и стеклолакотканью ЛСП-130/155 толщиной 0,15 мм. При тропическом и влагоморозостойком исполнениях пазовую изоляцию электродвигателей 1—5-го габаритов комплектуют из стекломиканита $Г_1ФГІ$ толщиной 0,22 мм и стеклолакоткани ЛСП-130/155 толщиной 0,11 мм, а 6—9-го габаритов — из стекломиканита класса нагревостойкости *F* марки $Г_2ФЭІ$ толщиной 0,3 мм и стеклолакоткани ЛСП-130/155 толщиной 0,11 мм.

В электродвигателях серии А2 6—9-го габаритов пазовая изоляция выполнена из двух слоев пленкоэлектрокартона толщиной 0,27 мм на полиэтилентерефталатной пленке.

Вместо многослойной пазовой коробки применяют также однослойную, которую выполняют из композиционного материала, например, стеклолакорезинослюдопласта ГИТ-ТР-СР толщиной 0,55 мм. Междуфазовую прокладку в пазу изготовляют из одного слоя этого же материала.

В электродвигателях новой серии 4А для пазовой изоляции применены более тонкие и теплостойкие синтетические материалы с повышенной электрической и механической прочностью (табл. 65). Пазовая изоляция выполняется из одного слоя материала.

Междуслойные прокладки в пазах (двухслойных обмоток), прокладки под клиньями и междуфазовые прокладки в лобовых частях обычно выполняют из тех же материалов, что и пазовую изоляцию с целью использования отходов, получающихся при раскрое материалов для пазовых коробок. В случае, когда эта изоляция двух- или трехслойная, слои проклеиваются между собой.

В электродвигателях серии АО2 тропического и влагоморозостойкого исполнения 1—9-го габаритов, серии АО2 6—9-го габаритов нормального исполнения и серии 4А прокладки под клинья выполнены из стеклотекстолита марки СТ и СТЭФ.

Изоляция выводов катушек, междукатушечных соединений и паек электродвигателей тропического и влагоморозостойкого исполнений серии АО2 1—9-го габаритов и серии АО2 6—9-го габаритов нормального исполнения выполнена электроизоляционными трубками марки ТКС. В остальных электродвигателях серий А2 и АО2 наряду с указанными применяют трубки марок ТЭЛ, ТЭС и ТКВ, а в электродвигателях серии 4А — более теплостойкие и эластичные трубки марок ТКСП.

Бандажировка лобовых частей обмоток электродвигателей старых выпусков, серий А и АО, серии АО2 1—5-го габаритов нормального исполнения и серии А2 6—9-го габаритов выполнена преимущественно хлопчатобумажным крученым шнуром. В остальных электродвигателях серии АО2 нормального, тропического и влагоморозостой-

Таблица 65. **Изоляция статорных обмоток асинхронных двигателей серии 4А основного исполнения**

Изоляция и ее элементы	Изоляция класса B при высоте оси вращения, мм				Изоляция класса F при высоте оси вращения 160—250 мм	
	500—100		112—132			
	Наименование	Толщина, мм	Наименование	Толщина, мм	Наименование	Толщина, мм
Пазовая	Пленка ПЭТФ или изофлекс-2***	0,2* или 0,35** (для двухполюсных машин при высоте вращения 80—100 мм) 0,2	Пленка ПЭТФ или изофлекс-2***	0,35 или 0,2—0,25* 0,2—0,25	Тривольтерм N или изоном NMN или пленколакослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ ***	0,36 0,4
Междуфазная	Пленкоасбокартон на пленке ПЭТФ толщиной 0,1 мм или пленкосинтокартон ПСК-Л	0,35 0,25	Пленкоасбокартон на пленке ПЭТФ толщиной 0,1 мм или пленкосинтокартон ПСК-Л или изофлекс-2	0,35 0,25 0,2—0,25	Тривольтерм N или изоном NMN или пленколакослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ ***	0,36 0,4
Пазовый клин (или пазовая крышка)	Пленка ПЭТФ или изофлекс-2***	0,2—0,35 0,2—0,4	Пленка ПЭТФ или изофлекс-2***	0,35 0,4	Тривольтерм N или изоном NMN или профильный стеклопластик СПП-Э *** на эпо-	0,5

					ксидном связующем или стеклотекстолит СТЭФ ***	
Прокладка под клин	—	—	—	—	Стеклотекстолит СТЭФ **	0,5
Изоляция выводов и соединений	Трубки ТКСП, ТКР *** или ТЭС ***	—	Трубки ТКСП, ТКР *** или ТЭС ***	—	Трубки ТКСП, ТКР *** или ТЭС ***	—
Бандажировка лобовых частей	Крученая полиэфирная нить или стеклочулок АСЭЧ (б) ***	—	Крученая полиэфирная нить или стеклочулок АСЭЧ (б) ***	—	Стеклочулок АСЭЧ (б) *** или стеклолента ЛЭС ***	—

* При укладке обмотки совмещенным способом.
** При укладке обмотки методом втягивания
*** При немеханизированном изготовлении статоров.

Примечание. При изоляции статорных обмоток класса нагревостойкости B применяется в качестве пропиточного состава компаунд КП-34 или лак МЛ-92, а класса нагревостойкости F - компаунд КП-34 или лак ПЭ-993, или лак ПЭ-933. Покровная эмаль применяется при пропитке обмоток лаками с растворителями. Марка эмали ГФ—92ГС применяется при классе нагревостойкости B, а ЭП-91 — при классе нагревостойкости F.

кого исполнений бандажировка лобовых частей выполнена стеклочулком марки АСЭЧ(б), в электродвигателях серии 4А — стеклочулком АСЭЧ(б) и крученой полиэфирной нитью.

Пазовые клинья электродвигателей старых выпусков серий А и АО, серии АО2 1—5-го габаритов и серии А2 6—9-го габаритов изготовлены из сухого дерева твердых пород. В электродвигателях серии АО2 6—9-го габаритов клинья прессуются из прессматериала АГ-4. В электродвигателях серии АО2 1—9-го габаритов тропического и влагоморозостойкого исполнения применен стеклотекстолит марки СТЭФ. Клинья электродвигателей серии 4А прессуют из теплостойких пластичных материалов — пленок ПЭТФ, изофлекса-2, тривольтерма.

Надежность междуфазовой изоляции в пазах и лобовых частях современных обмоток достигается применением композиционных материалов — лакостеклослюдопластов в машинах нормального испол-

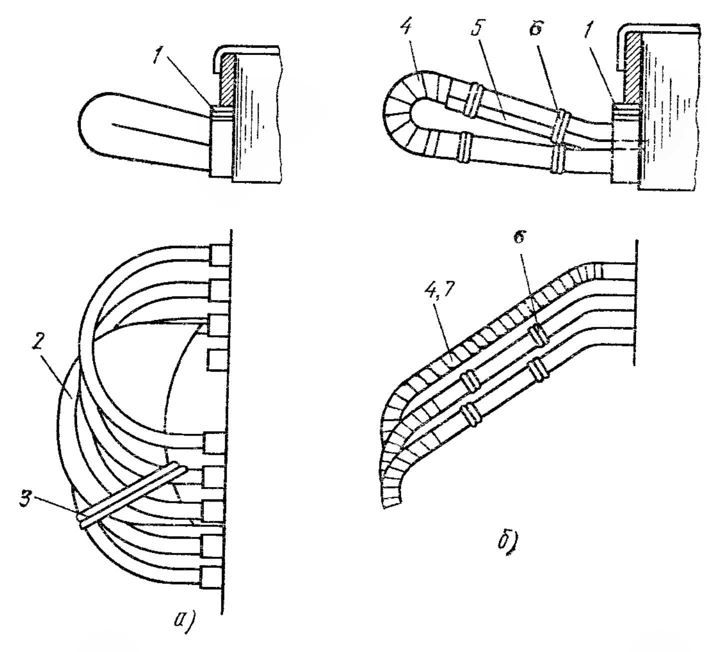


Рис. 103. Изоляция лобовых частей двухслойных всыпных обмоток с междуфазной прокладкой (*а*) и с наложением леит (*б*)

нения и лакостекломиканитов в машинах тропического исполнения. Лакостеклослюдопласт состоит из двух слоев слюдопластовой бумаги, оклеенной двумя слоями стеклоткани. Лакостекломиканит состоит из двух слоев слюды флогопит, одного слоя стеклолакоткани и одного слоя стеклоткани, склеенных лаками.

Для усиления изоляции на выходе из паза на торцах сердечников устанавливают крайние изоляционные листы из электронита толщи-

ной 3—4 мм с пазами. Располагаясь в этих пазах, пазовая коробочка надежно предохраняется от повреждения. С этой же целью лакоткань или стеклолакоткань коробочки подворачивают под основную изоляцию и заводят в паз, образуя манжету. Раскрой должен быть таким, чтобы обеспечить заход лакоткани или стеклолакоткани в паз на 8—15 мм в зависимости от габаритов машины. Пазовая коробочка также должна выходить из паза на 8—15 мм.

Головки катушек, выполняемых из проводов со стекловолокнистой изоляцией, рекомендуется изолировать через одну одним слоем ленты из стеклолакоткани и поверх стеклянной лентой для предохранения изоляции провода.

В статорных обмотках из круглого провода существуют два основных варианта изоляции лобовых частей с помощью прокладок (рис. 103, *а*) и с наложением лент (рис. 103, *б*). При первом варианте лобовые части катушечных групп различных фаз изолируются друг от друга прокладками. Эта изоляция менее надежна, чем изоляция лентами при втором варианте. Кроме того, прокладки ухудшают вентиляцию лобовых частей и увеличивают перегрев обмотки. При классе изоляции *E* в машинах мощностью свыше 10 кВт для прокладок применяют нагревостойкий материал — лакостеклослюдопласт, так как прокладки из пленкоэлектрокартона выскальзывают из обмотки.

Между двумя рядом расположенными лобовыми частями разных катушечных групп действует полное испытательное напряжение. Поэтому при изоляции лентами одна из крайних катушек каждой катушечной группы изолируется по всей длине лобовой части и носит название фазной.

46. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК КОЛЛЕКТОРНЫХ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ

В якорях коллекторных микродвигателей (мощностью 5—600 Вт) с частотой вращения до 5000 об/мин устанавливают круглые провода марки ПЭВ при классе нагревостойкости *А* и ПЭТВ при классе *В*. При больших частотах вращения (5000—8000 об/мин) применяют провода с эмалевоволокнистой и стекловолокнистой изоляцией, позволяющие получить более монолитную обмотку после пропитки: ПЭЛШКО для класса *А* и ПСДТ для класса *В*. Для машин нормального, тропического и усиленно-влагостойкого исполнения можно использовать все четыре марки проводов, для химостойкого — марку ПСДТ.

Выбор материалов пазовой изоляции (табл. 66) определяется классом нагревостойкости изоляции и исполнением электрической машины. Пазовая коробочка изготовляется двухслойной.

Для усиления изоляции на торце пакета, как и в статорных обмотках, выполняется манжета из стеклолакоткани с заходом в паз на 8—15 мм. В необходимых случаях, когда из-за высокого коэффициента заполнения паза или по другим причинам происходит сдвиг или смятие стеклолакоткани, ее подклеивают ко второму слою изоляции пазовой коробочки или применяют композиционный материал.

Для полюсных катушек коллекторных микродвигателей служат провода марок ПЭВ при классе нагревостойкости *А*, ПЭТВ — при классе *В* и ПСДТ в машинах химостойкого исполнения. Изоляция катушек выполняется при классе нагревостойкости *А* в машинах

Таблица 66. **Пазовая изоляция якорных обмоток коллекторных микродвигателей**

Изоляция паза якоря с всыпной обмоткой коллекторной машины	Позиции на рисунке	Изоляция класса нагревостойкости А, нормальное исполнение	
		Наименование	Толщина, мм
	1	Электрокартон ЭВ	0,15
	2	Стеклолакоткань ЛСЛ-105/120	0,15
	3	Электрокартон ЭВ	0,3
	4	Клин деревянный (бук, береза)	1—2

Продолжение табл. 66

Позиции на рисунке	Изоляция класса нагревостойкости *В*, нормальное исполнение, класса *А*, усиленно-влагостойкое исполнение		Изоляция класса нагревостойкости *А* и *В*, химостойкое и тропическое исполнения	
	Наименование	Толщина, мм	Наименование	Толщина, мм
1	Электрокартон ЭВ	0,15	Стекломиканит ГıФГı	0,22
2	Гибкий миканит ГФЧО	0,2	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,15
3	Лакостеклослюдопласт	0,45	Лакостекломиканит	0,5
4	Клин из текстолита марки В	1—2	Клин из стеклотекстолита марки СТ	1—2

нормального исполнения из электрокартона марки ЭВ и тафтяной ленты; для изоляции выводов и мест паек применяют линоксиновые трубки, для вязки — хлопчатобумажный чулок. При классе *В* всех исполнений, а также при классе *А* химостойкого исполнения в качестве изоляции используют стеклолакоткани ЛСБ-120/130 и ЛСП-130/155, стеклянную ленту ЛЭС, стеклотрубки и стеклочулок АСЭЧ(б).

47. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

В якорях машин постоянного тока мощностью до 9 кВт * обмотку выполняют из круглого провода (табл. 67). Якори машин мощностью 10—200 кВт обычно имеют шаблонную обмотку, катушки которой изготовляются из прямоугольных проводов ПБД, ПСД, ПСДК или голой медной проволоки прямоугольного сечения с наложенной на них витковой изоляцией (табл. 68).

Пазовые части катушек шаблонной обмотки длиной до 300 мм на напряжение до 500 В при частоте вращения якоря до 60 м/с изолируются «мягкой гильзой» (табл. 69). При длине больше 300 мм или при напряжении больше 500 В пазовая часть изолируется твердой гильзой или имеет непрерывную изоляцию. Лобовые части в обоих случаях изолируются одними и теми же материалами. При напряжении свыше 500 В количество слоев в лобовой части увеличивается до трех.

При расчете размеров катушек при изолировке «мягкой гильзой» необходимо учитывать разбухание корпусной изоляции от пропитки, которое зависит от толщины изоляции, марок изоляционных материалов и составляет 0,3—0,4 мм.

48. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Величины испытательных напряжений изоляции обмоток для собранных машин устанавливаются Государственным стандартом ** (табл. 70). Для своевременного выявления дефектов в процессе изготовления и укладки обмотки изоляцию подвергают испытаниям после изготовления катушек, укладки обмотки или установки катушек на полюсы, пайки соединений, пропитки. Величины испытательных напряжений (табл. 71—74) выбирают достаточно большими, чтобы обнаружить опасные дефекты изоляции: проколы надрывы, смещения, трещины и т. д. Однако при неоправданно больших значениях испытательных напряжений может быть повреждена вполне надежная и качественная изоляция.

Время, в течение которого обмотку выдерживают под испытательным напряжением, обычно составляет 1 мин при испытании корпусной изоляции и изоляции между обмотками и 10—30 с — при испытании витковой изоляции. Меньшее время может оказаться недостаточным для выявления дефекта. При большом времени выдержки под значительно повышенным по отношению к рабочему напряжением изоляция подвергается старению, т. е. заметно теряет свои свойства.

---

* Имеется в виду мощность, определяющая габарит машины при частоте вращения 1500 об/мин. При большей частоте мощность при тех же размерах машин будет больше указанной.

** ГОСТ 183—74. Машины электрические. Общие технические требования.

Таблица 67. Пазовая изоляция обмоток якорей мощностью 0,6—9 кВт при напряжении до 500 В (см. рис. к табл. 66)

Позиции на рисунке к табл. 66	Изоляция класса нагревостойкости *A*, нормальное исполнение		Изоляция класса нагревостойкости *E*, нормальное исполнение		Изоляция класса нагревостойкости *B*, все исполнения	
	Наименование	Толщина, мм	Наименование	Толщина, мм	Наименование	Толщина, мм
1	Стеклолакоткань ЛСЛ-105/120	0,2	Пленкоэлектрокартон	0,27	Стекломиканит гибкий $Г_2ФГП$	0,35
2	Электрокартон ЭВ	0,2	—	—	Стеклолакоткань ЛСБ-120/130	0,2
3	»	0,5	Пленкоэлектрокартон	0,27	Лакостекломиканит	0,5
4	»	0,5	»	0,27	Стеклотекстолит СТ	0,5
5	Клин деревянный (бук, береза)	Не менее 2,0	Клин деревянный (бук, береза)	Не менее 2,0	Клин из стеклотекстолита марки СТ	Не менее 2,0

Продолжение табл. 67

Позиции на рисунке к табл. 66	Изоляция класса нагревостойкости *F*, все исполнения		Изоляция класса нагревостойкости *H*, все исполнения	
	Наименование	Толщина, мм	Наименование	Толщина, мм
1	Стекломиканит гибкий $Г_2ФГП$	0,35	Стекломиканит гибкий $Г_2ФГП$	0,35
2	Стеклолакоткань ЛСП-130/155	0,15	Стеклолакоткань ЛСП-130/155	0,15
3	Лакостекломиканит	0,50	Лакостекломиканит	0,50
4	Стеклотекстолит СТЭФ	0,50	Стеклотекстолит СТК	0,50
5	Клин из стеклотекстолита марки СТЭФ	Не менее 2,0	Клин из стеклотекстолита марки СТК	Не менее 2,0

Таблица 68. **Витковая изоляция обмоток якорей машин постоянного тока мощностью 9—200 кВт на напряжение до 500 В**

Изоляция шаблонных якорных обмоток машин постоянного тока мощностью 10—200 кВт	Класс нагревостойкости изоляции	Марка провода и витковая изоляция (поз. *1* на рисунке)	
		при нормальном исполнении	при усиленно влагостойком, тропическом и химостойком исполнениях
а) Пазовая	*A*	ПБД без дополнительной витковой изоляции	ПСД, ПСДТ и микалента ЛФС-ТТ толщиной 0,17 мм
б) Лобовая	*E*, *B*	ПСД, ПСДТ и гибкий миканит ГФЧО толщиной 0,2 мм	ПСД, ПСДТ и микалента ЛФЭ-ТТ или ЛФС-ТТ толщиной 0,17 мм
	F	ПСД, ПСДТ и микалента ЛФС-ТТ или ЛФЭ-ТТ толщиной 0,17 мм	То же
	H	ПСДК и микалента ЛФК-ТТ толщиной 0,17 мм	

Таблица 69. **Изоляция обмоток якорей мощностью 10—200 кВт «мягкой гильзой» (см. рис. к табл. 68)**

Позиции на рисунке к табл. 68	Изоляция класса нагревостойкости *А*, нормальное исполнение		Изоляция класса нагревостойкости *В*, нормальное исполнение	
	Наименование и марка	Толщина, мм	Наименование и марка	Толщина, мм
7	Электрокартон ЭВ	0,5	Электрокартон ЭВ	0,5
4	То же	0,2	То же	0,2
2	Стеклолакоткань ЛСЛ-105/120 (2,5 оборота)	0,2	Гибкий миканит ГФЧО (2,5 оборота)	0,2
5	Электрокартон ЭВ	0,5	Стеклотекстолит СТ	0,5
3	Лента тафтяная (один слой встык)	0,25	Лента стеклянная ЛЭС (один слой встык)	0,1
6	Электрокартон ЭВ	0,3	Электрокартон ЭВ	0,3
9	Лента тафтяная (один слой вполнахлеста)	0,25	Лента стеклянная ЛЭС (один слой вполнахлеста)	0,1
10	То же	0,25	То же	0,1

Продолжение табл. 69

Позиции на рисунке к табл. 68	Изоляция класса нагревостойкости *В* тропическое и химостойкое исполнения класса *F*, все исполнения		Изоляция класса нагревостойкости *Н*, все исполнения	
	Наименование и марка	Толщина, мм	Наименование и марка	Толщина, мм
7	Стеклотекстолит СТЭФ	0,5	Стеклотекстолит СТК	0,5
4	Электронит	0,2	Стеклолакоткань ЛСК-155/180	0,15
2	Гибкий стекломиканит $Г_1ФГI$ (2,5 оборота)	0,25	Гибкий стекломиканит $Г_1ФКI$ (2,5 оборота)	0,22
5	Стеклотекстолит СТЭФ	0,5	Стеклотекстолит СТК	0,5
3	Лента стеклянная (один слой встык)	0,1	Лента стеклянная ЛЭС (один слой встык)	0,1
6	Стеклотекстолит СТЭФ	0,5	Стеклотекстолит СТК	0,5
9	Лента стеклянная ЛЭС (один слой вполнахлеста)	0,1	Лента стеклянная ЛЭС (один слой вполнахлеста)	0,1
10	То же	0,1	То же	0,1
8	Микалента ЛФЭ-ТТ или ЛФС-ТТ (один слой вполнахлеста)	0,17	Микалента ЛФК-ТТ (один слой вполнахлеста)	0,17

Таблица 70. **Испытательные напряжения изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками**

Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение
Машины мощностью менее 1 кВт (или 1 кВ·А) на номинальное напряжение ниже 100 В	500 В+двукратное напряжение
Машины мощностью от 1 кВт (или 1 кВ·А) и выше на номинальное напряжение ниже 100 В	1000 В+двукратное номинальное напряжение
Машины:	
мощностью от 1000 кВт (или 1000 кВ·А), за исключением вышеперечисленных	1000 В+двукратное номинальное напряжение, но не менее 1500 В
мощностью до 1000 кВт (или 1000 кВ·А) и выше на номинальное напряжение до 3300 В включительно	1000 В+двукратное номинальное напряжение
Обмотки возбуждения синхронных генераторов	Десятикратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1500 и не более 3500 В
Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей:	
реверсивных	1000 В+четырехкратное номинальное напряжение обмотки ротора
нереверсивных	1000 В+двукратное номинальное напряжение обмотки ротора

Примечания. 1. Испытательные напряжения обмоток возбуждения синхронных электродвигателей, синхронных компенсаторов, а также обмоток возбудителей электрических машин определяются в зависимости от назначения, мощности и напряжения (см. ГОСТ 183—74).

2. Если электрическую машину испытывают на нагревание, то испытание на электрическую прочность изоляции проводят непосредственно за испытанием на нагревание.

Таблица 71. Испытательные напряжения изоляции якорных обмоток машин переменного тока относительно корпуса и между фазами

Обмотки	Мощность и напряжение машины	Испытательное напряжение, В			
		до укладки	после укладки	после соединения и пайки	после пропитки и запрессовки статора в корпус
Всыпная статора (якоря)	50—200 Вт, до 36 В *	—	700	650	600
	50—400 Вт, выше 36 до 250 В *	—	1500	1300	1200
	400 Вт—10 кВт, до 500 В *	—	2500	—	2200
	10—100 кВт, до 600 В включительно	—	3000	2700	2500
С жесткими полукатушками	100—400 кВт, до 600 В включительно	—	3500	3000	—
С жесткими изолированными катушками	100—500 кВт, до 500 В	4 500	3 500	3 000	—
	100—500 кВт, свыше 500 до 660 В	5 000	4 000	3 500	—
	Свыше 100 кВт, выше 660 до 3300 В	13 500	11 500	9 000	—
	Свыше 100 кВт, выше 3300 до 6600 В	22 000	18 500	17 500	—
Катушечная ротора	До 100 кВт включительно, до 500 В включительно	—	3500	3000	—

* Длительность испытания 10 с, для остальных машин — 1 мин.

Таблица 72. Испытательные напряжения изоляции стержневых роторных обмоток относительно корпуса и между фазами

Напряжение ротора, В	Испытательное напряжение, В		
	до укладки	после укладки	после соединения и бандажирования
500 и менее *	4000 (5000)**	3000 (4000)	2500 (3500)
Свыше 500 до 1000	5000 (7000)	4000 (6000)	3500 (5500)
» 1000 » 1500	5500 (9000)	5000 (8000)	4500 (7500)
» 1500 » 2500	8000 (13 000)	7000 (12 000)	6500 (11 500)

* При мощности машины 100 кВ и менее. Остальные значения для машин мощностью выше 100 до 1000 кВ.

** Значения в скобках для реверсивных машин.

Таблица 73. Испытательные напряжения изоляции якорных обмоток машин постоянного тока относительно корпуса и между обмотками

Напряжение, В	Испытательное напряжение, В			
	до укладки	после укладки	после соединения и бандажирования	после пропитки и обточки коллектора
36 и менее *	—	1000	800	700
Свыше 36 до 500 **	3000	2900 (2700)***	2500	2300
110 и менее	—	(2800)	(2600)	(2400)
Свыше 110 до 300	3 500	3200 (3000)	3000 (2700)	2700 (2500)
» 300 » 500	3 800	3 500	3 300	3000
» 500 » 800	4 500	4 000	3 500	3200
» 800 » 1000	5 500	4 800	4 500	3800
» 1000 » 1650	7 000	6 000	5 800	5500
» 1650 » 3000	13 500	11 500	10 000	9000

* При любой мощности.

** При мощности 3 кВт и менее. Остальные значения для машин мощностью более 3 кВт. Длительность испытаний при мощности 3 кВт и менее — 10 с.

*** В скобках приведены значения испытательных напряжений для обмоток с не полностью наложенной корпусной изоляцией (с установкой при укладке пазовой изоляции).

Таблица 74. Испытательные напряжения изоляции обмоток главных и добавочных полюсов относительно корпуса

Напряжение, В	Испытательное напряжение, В	
	до одевания на полюс	после сборки корпуса
Обмотки на каркасах, одеваемые на неизолированные полюсы		
36 и менее *	1 000	800
Свыше 36 до 500 *	2 700	2500
100 и менее	2 700	2500
Свыше 110 до 500	3 500	3000
» 500 » 800	4 200	3500
» 800 » 1000	5 000	4000
» 1000 » 1650	5 800	5500
» 1650 » 3000	10 000	9000
Обмотки, одеваемые на изолированные полюсы		
24 и менее *	—	800
Свыше 24 до 110	—	2500
» 110 » 500	—	3000
» 500 » 800	—	3500
» 800 » 1000	—	4000
» 1000 » 1650	—	5500
» 1650 » 3000	—	9000

* При мощности 3 кВт и менее, остальные напряжения приведены для машин мощностью более 3 кВт.

До укладки испытываются относительно корпуса только те обмотки, у которых корпусная изоляция полностью накладывается в процессе изготовления катушки. На испытываемую часть катушки накладывают электрод в виде стальной коробочки или наматывают алюминиевую фольгу. Длину электрода берут равной длине сердечника для обмоток низкого напряжения. Для обмоток высокого напряжения длина электрода увеличивается обычно до уголков, где изоляция несколько ослаблена.

VII. ОБМОТОЧНЫЕ ДАННЫЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ *

49. ОБОЗНАЧЕНИЕ ТИПОВ ДВИГАТЕЛЕЙ И ВЕЛИЧИН В ТАБЛИЦАХ ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ

Тип трехфазного асинхронного двигателя расшифровывается следующим образом. В сериях А и АО; $А_2$ и АО2; А3 буква А означает

* Более подробно см.: Геращенко Г. В., Тембель П. В. Справочник по обмоточным данным электрических машин и аппаратов. — Киев: Техника, 1972.

брызгозащищенное исполнение, АО — закрытое обдувание, первая цифра после букв — номер серии. Число после обозначения серии (первого дефиса) характеризует типоразмер (обычно между обозначениями серии и типоразмера ставят дефис): первая цифра в нем обозначает габарит (условный номер наружного диаметра сердечника статора), вторая — условный номер длины. Цифра после второго дефиса соответствует числу полюсов. Например, АО2-62-4 — асинхронный трехфазный электродвигатель в закрытом обдуваемом исполнении, второй единой серии, шестого габарита, второй длины, четырехполюсный. Электродвигатели 1—5-го габаритов во второй серии выпускают только в закрытом обдуваемом исполнении, что повышает их надежность: срок службы закрытой машины малой мощности увеличивается в 1,5—2 раза по сравнению с защищенной.

Двигатели единых серий А, АО и О2, АО2 основного исполнения имеют короткозамкнутый ротор с литой алюминиевой обмоткой. На их базе выпускается ряд модификаций двигателей. При обозначении модификаций к буквенной части добавляется буква для электродвигателей: с повышенным пусковым моментом — П (например, АОП2-62-4); с повышенным скольжением — С; для текстильной промышленности — Т; с фазным ротором — К.

Асинхронные двигатели с повышенным пусковым моментом предназначены для привода механизмов с большими нагрузками в период пуска. Двигатели с повышенным скольжением применяются для механизмов с неравномерным ударным характером нагрузки и механизмов с большой частотой пусков и реверсов.

Для двигателей общего назначения с алюминиевой обмоткой статора в конце обозначения добавляется буква А (например, АО2-42-4А).

В двигателях на несколько частот вращения в цифры, обозначающие числа полюсов, вносят все их значения, разделенные косыми линиями, например АО-94-12/8/6/4 — трехфазный асинхронный двигатель серии АО 9-го габарита, 4-й длины на 12, 8, 6 и 4 полюсов.

Буква Л (например, АОЛ2-21-6) обозначает, что корпус и щиты отлиты из алюминиевого сплава.

Обозначение типа электродвигателя серии 4А, например 4АА90*L*В8, расшифровывается следующим образом:

4 — номер серии;

А — асинхронный закрытый обдуваемый (защищенные обозначаются АН);

А — вторая буква — алюминиевая станина и щиты (Х — алюминиевая станина и чугунные щиты; если станина и щиты чугунные, никакого обозначения не дается);

90 — высота оси вращения, мм;

S, *L*, *M* — установочные размеры по длине корпуса;

А, В — длина сердечника (дается в том случае, если на одном установочном размере предусмотрены две мощности);

2, 4, 6, 8 — число полюсов.

Обозначение величин в таблицах обмоточных данных приведено на с. 22. Шаги обмоток в таблицах в целях экономии места обозначены одной цифрой. Например, для однослойной концентрической обмотки $y=11$; 9; 7, что равноценно: 1—12; 2—11, 3—10 (катушки находятся одна внутри другой).

Число проводников в пазу представлено в виде произведения. Множимое означает число эффективных проводников, множитель — число параллельных (элементарных) проводников. Для двухслойной

обмотки число эффективных проводников представлено в виде суммы, причем каждое слагаемое означает число эффективных проводников в слое обмотки. Например:

1. Запись числа проводников в пазу 43 означает, что обмотка однослойная, наматывается одним проводом (параллельных проводов нет), число эффективных проводников в пазу 43, общее число проводников в пазу 43.

2. Запись 43×3 означает, что обмотка однослойная, наматывается тремя параллельными проводами, число эффективных проводников 43, общее число проводников в пазу 43×3=129.

3. Запись (16+16)2 означает, что обмотка двухслойная, наматывается двумя параллельными проводами, число эффективных проводников в пазу 16+16=32, в каждом слое обмотки 16 эффективных проводников, общее число проводников в пазу (16+16)2=64.

Обмоточные данные электродвигателей единой серии А2, АО2 приведены в таблицах для номинальных напряжений 220/380 В при учете соединения фаз обмотки △/Y или для одного напряжения 380 В. Таблицы составлены по данным каталог-справочника * и Центрального конструкторско-технологического бюро по ремонту электрооборудования (ЦКТБЭР), используемым при ремонте обмоток.

Для других номинальных напряжений число эффективных проводников в пазу можно пересчитать по рис. 85, а диаметр провода — по рис. 86. Если при пересчете надо подобрать другой диаметр провода, то следует изменить число параллельных проводников или число параллельных ветвей или то и другое вместе. В этом случае полученное по рис. 86 значение надо умножить на k_d (см. табл. 52). Если изменяем число параллельных ветвей, то надо соответственно изменить и число эффективных проводников в пазу.

---

* Каталог-справочник. Асинхронные электродвигатели единой серии А2 и АО2 мощностью от 0,6 до 100 кВт: — ВНИИЭМ, Информэлектро, 1969.

50. ДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ А, АО 0—9-го ГАБАРИТОВ

Таблица 75. **Обмоточные данные двигателей 0—2-го габаритов**

Обозначение	P, Вт	$U = 127/220$ В				$U = 220/380$ В				y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг		
АОЛ 011-2	80	195	0,29*	49	0,32	337	0,21*	162	0,31	—	308
АОЛ 012-2	120	150	0,35*	28	0,40	260	0,25*	95	0,36	—	336
АОЛ 011-4	50	266	0,25*	70	0,26	460	0,19*	209	0,26	—	240
АОЛ 012-4	80	202	0,29*	44	0,29	350	0,21*	144	0,28	—	268
АОЛ 11-2	180	105	0,41*	20,5	0,53	181	0,33*	54	0,60	11; 9	360
АОЛ 12-2	270	78	0,49	11,6	0,62	135	0,35*	39,2	0,54	11; 9	392
АОЛ 11-4	120	147	0,35*	30,3	0,42	254	0,27*	87,5	0,43	7; 5	276
АОЛ 12-4	180	112	0,41	18,6	0,49	193	0,33*	49,5	0,55	7; 5	308
АОЛ 21-2	400	65	0,62	6,2	0,92	112	0,44	21,2	0,82	11; 9	410
АОЛ 22-2	600	49	0,72	3,8	1,03	85	0,53	12,3	0,98	11; 9	450
АОЛ 21-4	270	93	0,49	11,0	0,65	160	0,35	37,0	0,59	7; 5	316
АОЛ 22-4	400	72	0,57	7,1	0,76	125	0,41	23,6	0,70	7; 5	356

* Провод марки ПЭЛШО, в остальных случаях — ПЭЛБО.

Таблица 76. **Обмоточные данные двигателей 3—4-го габаритов**

Обозначение	P, кВт	U = 127/220 В				U = 220/380 В				U = 500 В		$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	
А31-2, АО31-2, АОС31-2	1,0	43	0,93	2,15	1,57	74	0,67	7,05	1,43	97	0,57	480
А31-2*, АОС31-2*	0,6	53	0,8	3,7	1,45	92	0,59	11,8	1,36	121	0,49	490
А32-2, АО32-2, АОС32-2	1,7	29	1,12	1,14	1,77	51	0,83	3,67	1,73	67	0,72	550
А32-2*, АО32-2*	1,0	36	1,0	1,78	1,75	62	0,74	5,6	1,67	82	0,62	550
А31-4, АО31-4, АОС31-4	0,6	68	0,77	3,7	1,3	118	0,57	11,7	1,25	155	0,47	360
А32-4, АО32-4, АОС32-4	1,0	46	0,96	1,92	1,62	80	0,72	5,93	1,60	105	0,59	430
А31-6, АО31-6	0,4	72	0,72	5,81	1,64	125	0,53	18,6	1,56	164	0,44	330
А32-6, АО32-6	0,6	47	0,93	2,95	2,15	81	0,69	9,11	2,06	107	0,57	400
А41-2	2,8	27	1,4	0,715	2,7	47	1,12	1,96	3,02	62	0,96	580
АО41-2, АОС41-2	1,7	31	1,35	0,885	2,88	53	1,04	2,58	2,95	70	0,90	580
А42-2	4,5	18×3	1,0	0,36	3,17	31	1,35	1,01	3,27	41	1,2	660

АО42-2, АОС42-2	2,8	23×3	0,9	0,57	3,27	39	1,16	1,7	3,05	51	1,04	660
А41-4, АО41-4, АОС41-4												
АОП41-4	1,7	31	1,3	1,07	3,18	53	0,96	3,58	2,98	70	0,83	460
АОТ41-4	1,0	35	1,2	1,52	3,06	61	0,9	4,7	3,03	80	0,77	460
А42-4, АО42-4,	2,8	20×2	1,12	0,575	3,59	36	1,20	1,81	3,70	46	1,0	540
АОС42-4, АОП42-4												
АОТ42-4	1,7	24×2	1,0	0,884	3,45	41	1,12	2,38	3,68	54	0,96	540
А41-6, АО41-6, АОС41-6	1,0	44	1,04	2,14	2,47	76	0,77	6,82	2,36	100	0,67	390
АОП41-6	1,0	41	1,08	1,86	2,47	71	0,83	5,47	2,54	93	0,69	390
АОТ41-6	0,6	52	0,96	2,99	2,47	89	0,72	9,15	2,42	117	0,62	390
А42-6, АО42-6, АОС42-6	1,7	29	1,35	1,03	3,02	50	1,0	3,2	2,86	6[illegible]	0,86	470
АОП42-6	1,7	28×2	0,93	1,05	3,02	49	1,0	3,16	3,06	64	0,86	470
АОТ42-6	1,0	35×2	0,83	1,63	3,02	61	0,90	4,81	3,09	80	0,77	470

Примечания. 1. Марка провода — ПЭЛБО.

2. Шаги обмотки для двухполюсных машин: 1—12, 2—11; для четырехполюсных: 1—8, 2—7 (для 3-го габарита), 1—12, 2—11, 3—10 (для 4-го габарита); для шестиполюсных: 1—8, 2—7.

3. Число параллельных ветвей — одна.

4. Двигатели АО31-2* и АО32-2* имеют такие же сердечники, как и двигатели АО31-2 и АО32-2 и могут быть перемотаны с увеличением мощности.

5. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

Таблица 77. **Обмоточные данные двигателей 5-го габарита**

Обозначение	P, кВт	U = 127/220 В				U = 220/380 В				U = 500 В		$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	
А51-2	7,0	(9+9)4	1,20	0,19	6,22	(16+16)2	1,30	0,575	6,5	(21+21)2	1,12	680
АО51-2, АОС51-2	4,5	(11+11)4	1,08	0,285	6,2	(19+19)2	1,16	0,855	6,15	(25+25)2	1,0	680
А52-2	10	(6+6)4	1,50	0,092	7,4	(11+11)3	1,25	0,326	7,1	(14+14)2	1,4	780
АО52-2, АОС52-2	7,0	(8+8)4	1,30	0,164	7,44	(13+13)3	1,16	0,447	7,22	(17+17)2	1,25	780
А51-4, АО51-4, АОС51-4	4,5	18×3	1,25	0,303	6,58	32×2	1,12	0,97	6,26	42	1,4	590
АОП51-4	4,5	18×3	1,25	0,303	6,56	31×2	1,16	0,91	6,5	41×2	1,0	590
АОТ51-4	2,8	22×3	1,12	0,46	6,46	38×2	1,0	1,51	5,97	50	1,3	590
АК51-4	2,8	22×3	1,12	0,46	6,45	39×2	1,0	1,54	6,14	51×2	0,86	590
А52-4, АО52-4, АОС52-4	7,0	25×2*	1,30	0,171	7,67	22×2	1,40	0,52	7,82	29×2	1,2	690
АОП52-4	7,0	23×2*	1,35	0,147	7,6	21×3	1,16	0,48	7,72	28×2	1,2	690
АОТ52-4	4,5	15×3	1,40	0,238	8,0	26×2	1,25	0,77	7,4	34×2	1,08	690
АК52-4	4,5	30×2*	1,20	0,241	7,85	26×2	1,30	0,71	8,0	34×2	1,08	690

А51-6, АО51-6, АОС51-6	2,8	27×2	1,25	0,555	5,34	47	1,35	1,66	5,42	62	1,16	480
АОП51-6	2,8	26×2	1,30	0,494	5,56	45	1,40	1,48	5,57	59	1,2	480
АОТ51-6	1,7	31×2	1,16	0,74	5,29	53	1,25	2,18	5,28	70	1,08	480
АК51-6	1,7	32×2	1,12	0,82	5,1	56	1,20	2,5	5,11	74	1,04	480
А52-6, АО52-6, АОС52-6	4,5	18×3	1,25	0,298	6,45	31×2	1,16	0,894	6,4	41	1,4	580
АОП52-6	4,5	52**	1,30	0,266	6,22	30×2	1,16	0,864	6,72	39×2	1,0	580
АОТ52-6, АК52-6	2,8	21×3	1,16	0,40	6,5	36×2	1,04	1,29	6,0	47×2	0,93	580

* Число параллельных ветвей — две.

** Число параллельных ветвей — три, для остальных машин — одна.

П р и м е ч а н и я. 1. Марка провода — ПЭЛБО.

2. Шаги обмотки для двухполюсных машин: 1—10; для четырехполюсных: 1—12, 2—11, 3—10; для шестиполюсных: 1—8, 2—7.

3. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

Таблица 78. **Обмоточные данные двигателей 6—7-го габаритов**

Обозначение	P, кВт	U = 220/380 В					U = 500 В			y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a		
А61-2	14	(9+10)3	1,40	—	0,355	12,1	(12+13)2	1,56	—	12	820
А62-2	20	(14+14)2	1,40	2	0,208	12,5	(18+18)2	1,20	2	12	870
АО62-2	10	(18+18)2	1,30	2	0,309	14,4	(12+12)2	1,62	—	12	870
АО63-2	14	(14+14)2	1,45	2	0,210	14,9	(18+18)2	1,30	2	12	940
А61-4	10	(14+14)2	1,35	—	0,587	7,6	(18+18)2	1,20	—	7	570
АС61-4	10	25+25	1,45	2	0,454	7,84	(17+17)2	1,25	—	7	570
АП61-4	10	27+27	1,45	2	0,490	8,44	(18+18)2	1,25	—	7	570
АК60-4	7	(16+16)2	1,35	—	0,708	9,16	(21+21)2	1,16	—	8	600
АК61-4	10	(12+12)2	1,50	—	0,454	9,00	(16+16)2	1,30	—	8	640
А62-4	14	(10+10)2	1,62	—	0,316	8,45	(13+13)2	1,40	—	7	620
АС62-4	14	(9+10)3	1,40	—	0,268	9,05	(12+13)2	1,45	—	7	620
АП62-4	14	(10+10)2	1,68	—	0,294	9,06	(13+13)2	1,45	—	7	620
АК62-4	14	(20+20)2	1,25	2	0,295	11,4	26+26	1,56	2	8	690
АО62-4, АОС62-4, АОП62-4	10	(11+11)2	1,56	—	0,375	8,9	29+29	1,35	2	7	620
АОТ62-4	7	(12+12)2	1,50	—	0,44	8,72	(16+16)2	1,30	—	7	620
АО63-4, АОС63-4, АОП63-4	14	(16+16)2	1,30	2	0,218	10,2	21+21	1,62	2	7	690
АОТ63-4	10	(9+10)2	1,68	—	0,311	9,6	(12+13)2	1,45	—	7	690
А61-6	7	(18+18)2	1,20	—	0,838	6,8	23+23	1,56	—	5	500
АС61-6, АП61-6	7	(13+13)2	1,30	—	0,771	8,65	(17+17)2	1,12	—	7	500
АК60-6	4,5	(17+17)2	1,16	—	1,42	10,1	22+22	1,50	—	8	560
АК61-6	7	23+23	1,45	2	0,676	11,6	30+30	1,25	2	8	610

А62-6	10	27+27	1,45	2	0,474	8,14	(18+18)2	1,20	—	5	550
АС62-6, АП62-6	10	(10+10)2	1,50	—	0,488	9,65	(13+13)2	1,30	—	7	550
АК62-6	10	(9+9)2	1,62	—	0,468	12,5	(12+12)2	1,40	—	8	680
АО62-6	7	(14+14)2	1,35	—	0,566	7,8	(19+19)2	1,16	—	5	550
АОС62-6, АОП62-6	7	(11+11)2	1,35	—	0,666	8,95	(15+15)2	1,12	—	7	550
АОТ62-6	4,5	25+25	1,35	2	0,76	9,85	33+33	1,12	2	7	550
АО63-6	10	21+21	1,62	2	0,333	9,14	(14+14)2	1,40	—	5	620
АОС63-6, АОП63-6	10	(8+8)3	1,30	—	0,393	10,3	21+21	1,40	2	7	620
АОТ63-6	7	(18+18)2	1,08	2	0,479	10,4	(12+12)2	1,35	—	7	620
А61-8*, АС61-8	4,5	(16+16)2	1,16	—	1,14	8,15	21+21	1,45	—	6	480
А61-8**, АК61-8	4,5	(18+18)2	1,20	—	1,10	8,94	24+24	1,45	—	5	490
АП61-8	4,5	31+31	1,20	2	1,04	8,45	20+20	1,50	—	6	480
А62-8*, АС 62-8	7,0	(12+12)2	1,35	—	0,702	9,4	(16+16)2	1,16	—	6	530
А62-8**	7,0	27+27	1,40	2	0,665	9,95	(18+18)2	1,20	—	5	540
АП62-8	7,0	23+23	1,40	2	0,624	9,35	(15+15)2	1,25	—	6	530
АК62-8	7,0	26+26	1,50	2	0,552	11,0	35+35	1,25	2	5	540
АО62-8*	4,5	(14+14)2	1,16	—	1,09	8,6	18+18	1,50	—	6	530
АО62-8**	4,5	27+27	1,35	2	0,715	9,6	18+18	1,68	—	5	540
АОС62-8, АОП62-8	4,5	(13+13)2	1,20	—	0,962	8,15	17+17	1,62	—	6	530
АОТ62-8	2,8	33+33	1,12	2	1,39	8,7	22+22	1,40	—	6	530
АО63-8*, АОС63-8	7,0	(10+10)2	1,45	—	0,57	10,2	27+27	1,20	2	6	600
АО63-8**	7,0	(10+10)2	1,62	—	0,415	11,4	(13+13)2	1,35	—	5	610
АОП63-8	7,0	19+19	1,50	2	0,506	10,4	25+25	1,30	2	6	600
АОТ63-8	4,5	(12+12)2	1,35	—	0,796	10,7	32+32	1,16	2	6	600
А71-2	28	(12+12)3	1,40	2	0,127	17,3	(16+16)2	1,45	2	12	930
А72-2	40	(9+9)3	1,62	2	0,076	18,7	(12+12)3	1,40	2	12	1000
АО72-2	20	(11+11)3	1,50	2	0,108	20,2	(14+14)2	1,62	2	12	1000
АО73-2	28	(9+9)4	1,50	2	0,073	24,3	(12+12)3	1,50	2	12	1100
А71-4	20	(17+17)2	1,40	2	0,209	12,7	(22+22)2	1,20	2	7	720
АС71-4, АП71-4	20	(16+17)2	1,45	2	0,19	13,3	(22+22)2	1,30	2	7	720
АК71-4	20	(17+17)2	1,56	2	0,18	16,8	(22+22)2	1,35	2	8	770
А72-4	28	(13+13)2	1,62	2	0,131	14,0	(17+17)2	1,40	2	7	790
АС72-4, АП 72-4	28	(12+12)2	1,68	2	0,112	14,3	(16+16)2	1,50	2	7	790

Продолжение табл. 78

Обозначение	P, кВт	U = 220/380 В					U = 500 В			y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a		
АК72-4	28	(12+12)3	1,50	2	0,0995	18,1	(17+17)2	1,56	2	8	840
АО72-4, АОС72-4, АОП72-4	20	(14+14)2	1,56	2	0,152	14,8	(18+18)2	1,35	2	7	790
АОТ72-4	14	(16+16)2	1,45	2	0,201	14,2	(21+21)2	1,25	2	7	790
АО73-4, АОС73-4, АОП73-4	28	(10+10)3	1,56	2	0,0818	17,9	(13+13)2	1,62	2	7	890
АОТ73-4	28	(12+12)3	1,45	2	0,113	18,0	(16+16)3	1,25	2	7	890
А71-6	14	(17+17)2	1,20	2	0,369	12,2	23+23	1,45	2	7	620
АС71-6, АП71-6	14	24+23	1,45	3	0,302	12,3	21+21	1,56	2	7	620
АК71-6	14	23+23	1,68	3	0,255	18,0	30+30	1,45	3	8	700
А72-6	20	19+19	1,62	3	0,224	13,7	25+25	1,40	3	7	690
АС72-6, АП72-6	20	18+18	1,74	3	0,183	14,9	24+24	1,45	3	7	690
АК72-6	20	(17+17)2	1,35	3	0,16	19,1	22+22	1,68	3	8	770
АО72-6, АОС72-6, АОП72-6	14	20+20	1,56	3	0,254	13,7	26+26	1,35	3	7	690

АОТ72-6	10	23+23	1,45	3	0,339	13,3	30+30	1,25	3	7	690
АО73-6, АОС-73-6, АОП73-6	20	(10+10)2	1,62	2	0,151	17,1	20+20	1,62	3	7	790
АОТ73-6	14	17+17	1,74	3	0,208	16,0	22+22	1,50	3	7	790
А71-8*	10	(10+10)2	1,56	—	0,452	11,4	(13+13)2	1,35	—	6	570
А71-8**	10	(12+12)2	1,56	—	0,494	12,0	(16+16)2	1,35	—	5	560
ЛС71-8, ЛП71-8	10	(10+10)2	1,62	—	0,436	12,3	(13+13)2	1,40	—	6	570
АК71-8	10	(11+12)3	1,45	—	0,365	14,9	(15+15)2	1,56	—	5	560
А72-8*	14	(15+15)2	1,25	2	0,303	12,2	(10+10)2	1,56	—	6	640
А72-8**, ЛК72-8	14	(9+9)3	1,56	—	0,278	15,4	(11+12)3	1,40	—	5	630
АС72-8, АП72-8	14	(15+15)2	1,40	2	0,246	15,4	(10+10)3	1,40	—	6	640
АО72-8*	10	(16+16)2	1,12	2	0,402	10,9	21+21	1,45	2	6	640
АО72-8**	10	(19+19)2	1,20	2	0,372	13,0	25+25	1,56	2	5	630
АОС72-8, АОП72-8	10	(17+17)2	1,20	2	0,38	13,3	(11+11)2	1,56	—	6	640
АОТ72-8	7	19+19	1,62	2	0,467	12,7	25+25	1,40	2	6	640
АО73-8*	14	(12+12)2	1,35	2	0,240	13,6	(16+16)2	1,12	2	6	740
АО73-8**	14	(7+7)4	1,45	—	0,218	15,8	(9+9)3	1,45	—	5	730
АОС73-8, ЛОП73-8	14	(6+6)4	1,50	—	0,197	16,2	(8+8)3	1,45	—	6	740
АОТ73-8	10	(14+14)2	1,35	2	0,286	14,4	18+18	1,68	2	6	740

* Данные при $z_1=54$.
** Данные при $z_1=48$.

Примечания: 1. Марка провода — ПСД для двигателей ЛО, ЛОС, АОП; ПЭЛБО — для остальных типов.

2. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

Таблица 79. **Обмоточные данные двигателей 8—9-го габаритов**

Обозначение	P, кВт	U = 220/380 В					U = 500 В			y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a		
А81-2*	55	(8+8)5	1,62	2	0,051	34,6	(10+11)4	1,56	2	13	1250
А81-2	55	(8+9)4	1,81	2	0,050	32,3	(11+11)3	1,81	2	13	1220
А-82-2*	75	(6+6)6	1,68	2	0,032	36,2	(8+8)4	1,81	2	13	1350
А82-2	75	(7+7)6	1,62	2	0,0314	30,2	(9+9)5	1,56	2	10	1050
АО82-2*	40	(7+7)5	1,68	2	0,045	36,1	(9+9)4	1,68	2	13	1350
АО82-2	40	(9+9)5	1,56	2	0,052	27,7	(12+12)4	1,50	2	10	1050
АО83-2*	55	(5+6)6	1,74	2	0,030	40,3	(7+7)5	1,68	2	13	1490
АО83-2	55	(7+7)5	1,74	2	0,0368	31,7	(9+9)4	1,68	2	10	1190
А81-4, АС81-4, АП81-4	40	(8+8)4	1,50	2	0,077	25,2	(11+11)3	1,50	2	10	980
АК81-4	40	(17+17)2	1,56	4	0,0762	28,4	(22+22)2	1,40	4	10	980
А82-4, АС82-4, АП82-4	55	(12+12)3	1,45	4	0,046	29,0	(8+8)4	1,56	2	10	1080
АО82-4, АОС82-4, АОП82-4	40	(7+7)4	1,68	2	0,059	31,3	(9+9)3	1,68	2	10	1080
АК82-4	55	(12+12)3	1,50	4	0,0426	31,0	(16+16)2	1,62	4	10	1080
АО83-4, АОС83-4, АОП83-4	55	(10+10)3	1,62	4	0,035	35,0	(13+13)3	1,40	4	10	1220
А81-6, АС81-6, АП81-6	28	(8+8)3	1,45	2	0,145	23,2	(11+11)2	1,56	2	10	850
А82-6	40	(9+9)3	1,40	3	0,086	27,2	(12+12)2	1,45	3	10	950
АС82-6, АП82-6	40	17+17	1,74	6	0,0795	25,8	(11+11)2	1,56	3	10	950
АК81-6	28	(12+12)2	1,56	3	0,132	27,9	(15+16)2	1,35	3	11	900
АК82-6	40	(8+9)3	1,50	3	0,0746	30,8	(11+11)2	1,62	3	11	1000

АО82-6, АОС82-6, АОП82-6	28	(7+7)3	1,56	2	0,124	27,0	(9+9)2	1,68	2	10	950
АО83-6, АОС83-6, АОП83-6	40	(7+7)3	1,56	3	0,063	30,8	(9+9)2	1,68	3	10	1090
А81-8	20	(11+11)2	1,56	2	0,216	21,0	(7+7)3	1,56	—	7	720
АС81-8, АП81-8	20	21+21	1,62	4	0,190	21,4	(7+7)3	1,56	—	7	720
А82-8	28	(8+8)3	1,45	2	0,138	22,8	(11+11)2	1,56	2	7	820
АС82-8, АП82-8	28	(15+15)2	1,30	4	0,121	22,6	(10+10)2	1,62	2	7	820
АК81-8	20	21+21	1,68	4	0,192	24,2	28+28	1,45	4	8	770
АК82-8	28	(15+15)2	1,40	4	0,112	27,6	20+20	1,74	4	8	870
АО82-8, АОС82-8, АОП82-8	20	(9+9)3	1,35	2	0,178	23,0	(6+6)3	1,68	—	7	820
АО83-8, АОС83-8, АОП83-8	28	(13+13)2	1,35	4	0,113	25,2	17+17	1,68	4	7	960
А91-2	100	(4+5)7	1,88	2	0,024	57,9	(6+6)7	1,68	2	17	1480
А92-2	125	(3+4)10	1,88	2	0,0142	69,9	(4+5)8	1,88	2	17	1600
АО93-2	75	(4+4)8	1,88	2	0,021	67,8	(5+6)6	1,88	2	17	1660
АО94-2	100	(3+4)9	1,95	2	0,0164	78,0	(4+5)7	1,95	2	17	1800
А91-4, АС91-4, АП91-4	75	(10+10)3	1,68	4	0,038	43,8	(13+13)3	1,45	4	13	1170
АК91-4	75	(9+10)4	1,62	4	0,030	51,6	(12+13)3	1,62	4	13	1170
А92-4	100	(8+8)4	1,68	4	0,026	51,4	(10+11)3	1,68	4	13	1290
АС92-4	100	(7+7)5	1,62	4	0,0196	52,8	(10+10)4	1,50	4	13	1290
АП92-4	100	(7+7)5	1,62	4	0,0196	52,8	(10+11)3	1,68	4	13	1290
АК92-4	100	(7+8)5	1,62	4	0,022	52,4	(10+10)4	1,56	4	13	1290

Продолжение табл. 79

Обозначение	P, кВт	U = 220/380 В					U = 500 В			y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a		
АО93-4, АОС93-4 АОП93-4	75	(8+8)4	1,68	4	0,027	55,5	(10+11)3	1,68	4	13	1350
АО94-4, АОС94-4, АОП94-4	100	(6+6)6	1,62	4	0,0154	64,4	(8+8)4	1,74	4	13	1490
А91-6, АП91-6	55	(17+17)2	1,45	6	0,057	35,5	(11+11)3	1,50	3	10	950
АС91-6	55	(16+16)2	1,50	6	0,050	36,4	(11+11)3	1,50	3	10	950
АК91-6	55	(16+17)2	1,56	6	0,0512	43,4	(11+11)3	1,56	3	11	1020
А92-6	75	(13+13)2	1,68	6	0,037	41,6	(17+17)2	1,45	6	10	1070
АС92-6	75	(6+6)5	1,56	3	0,0314	42,5	(16+16)2	1,50	6	10	1070
АП92-6	75	(6+6)4	1,74	3	0,032	41,0	(16+16)2	1,50	6	10	1070
АК92-6	75	(12+12)2	1,81	6	0,0311	47,4	(16+16)2	1,56	6	11	1140

АО93-6, АОС93-6, АОП93-6	55	(13+13)2	1,68	6	0,039	45,2	(17+17)2	1,45	6	10	1130
АО94-6, АОС94-6, АОП94-6	75	(10+10)3	1,56	6	0,0264	51,2	(13+13)2	1,68	6	10	1270
А91-8, АП91-8	40	(15+15)2	1,56	4	0,085	31,2	(10+10)3	1,56	2	7	820
АС91-8	40	(13+14)2	1,68	4	0,0656	34,1	(9+9)3	1,68	2	7	820
АК91-8	40	29+29	1,62	8	0,0835	36,1	(19+19)2	1,40	4	8	900
А92-8, АП92-8	55	(11+11)3	1,50	4	0,051	37,7	(14+15)2	1,62	4	7	940
АС92-8	55	(10+10)3	1,56	4	0,043	37,2	(13+13)2	1,68	4	7	940
АК92-8	55	(21+21)2	1,35	8	0,049	41,5	(14+14)2	1,68	4	8	1020
АО93-8, АОП93-8	40	(11+11)3	1,45	4	0,058	38,8	(14+15)2	1,56	4	7	1000
АОС93-8	40	(10+10)3	1,56	4	0,0458	40,8	(13+14)2	1,62	4	7	1000
АО94-8, АОП94-8	55	(8+9)3	1,68	4	0,038	45,6	(11+11)3	1,45	4	7	1140
АОС94-8	55	(8+8)4	1,45	4	0,034	43,2	(10+11)3	1,50	4	7	1140

* Данные до модернизации. Размеры сердечников после модернизации не изменены.

Примечания: 1. Марка провода для двигателей АО, АОС, АОП — ПСД, для остальных — ПЭЛБО.
2. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

51. МНОГОСКОРОСТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ А, АО 3—9-го ГАБАРИТОВ *

Таблица 80. **Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 4/2 полюса**

Обозначение	P, кВт	U, В	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
АО31	0,45/0,6	220 380	62+62 107+107	0,53 0,38	374	15 51	1,19 1,08
АО32	0,75/1,0	220 380	46+46 80+80	0,62 0,44	466	9,75 33,6	1,42 1,27
АО41	1,3/1,7	220 380 500	31+31 54+54 70+70	0,86 0,62 0,53	460	5,16 17,3 30,7	2,82 2,58 2,47
АО42	2,1/2,8	220 380 500	21+21 37+37 48+48	1,04 0,77 0,67	540	2,86 2,15 15,8	3,28 3,18 3,13
АО51	3,2/4,2	220 380 500	(19+19) 2 33+33 44+44	1,0 1,08 0,93	600	1,56 4,6 8,35	6,1 6,14 6,07
АО52	5,2/7,0	220 380 500	(13+13) 2 22+22 29+29	1,25 1,35 1,16	700	0,8 2,32 4,1	7,52 7,4 7,52
А61	7,5/10	220 380 500	(13+13) 2 23+23 30+30	1,5 1,62 1,40	730	0,56 1,71 3,0	11,2 11,5 11,3
А62	10,5/14	220 380 500	(10+10) 2 (17+17) 2 22+22	1,74 1,30 1,68	780	0,345 1,05 1,625	12,4 11,8 12,6
АО62	7,5/10	220 380 500	(11+11) 2 19+19 25+25	1,62 1,74 1,50	730	0,41 1,228 2,17	11,4 11,2 11,1
АО63	10,5/14	220 380 500	(9+9) 3 (15+15) 2 (19+19) 2	1,45 1,35 1,16	800	0,305 0,882 1,52	12,4 12,0 11,3

Примечания: 1. Марка провода для АО62, АО63—ПСД, остальных—ПЭЛБО. 2. Шаги обмотки для 3-го габарита: 1—8, 2—7 (см. рис. 48); для 4—5-го: 1—12, 2—11, 3—10 (см. рис. 49); для А61, А62: 1—11; для АО62, АО63: 1—10. 3. Число параллельных ветвей — одна.

---

* Соединение фаз переключаемых обмоток на 4/2, 8/4, 6/12 полюсов—Δ/YY, непереключаемых обмоток на 6 и 4 полюса — Y.

Сопротивление и числа параллельных ветвей переключаемых обмоток приведены для большего числа полюсов, для меньшего числа полюсов сопротивление будет в 4 раза меньше, а число параллельных ветвей — в 2 раза больше.

Таблица 81. **Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 8/4 полюса**

Обозначение	P, кВт	U, В	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
АО41 АО42	0,3/0,5 0,6/1,0	380 380	125+125 78+78	0,38 0,51	370 450	86,2 36,2	1,9 2,5
АО51 АО52	1,1/1,7 2,0/3,0	380 380	69+69 45+45	0,74 0,96	460 560	15,5 7,35	4,66 6,2
А61	3,5/5,0	220 380 500	19+19 33+33 43+43	1,56 1,16 1,00	500	1,52 4,92 8,65	9,12 8,83 8,61
А62	5,0/7,0	220 380 500	14+14 25+25 33+33	1,88 1,35 1,12	550	0,875 3,04 5,78	10,7 9,93 9,06
АО62	3,5/5,0	220 380 500	16+16 27+27 35+35	1,68 1,30 1,08	550	1,25 3,53 6,64	10,1 10,3 9,37
АО63	5/7	220 380 500	(12+12) 2 20+20 26+26	1,35 1,50 1,30	620	0,82 2,22 3,84	11,3 11,4 11,1
А71	7/10	220 380 500	(12+12) 3 (22+22) 2 29+29	1,25 1,12 1,40	620	0,636 2,18 3,68	14,0 13,7 14,0
А72	10/14	220 380 500	(9+9) 3 (16+16) 2 (21+21) 2	1,45 1,30 1,12	690	0,396 1,31 2,32	15,7 14,9 14,6
АО72	7/10	220 380 500	(9+10) 2 (17+17) 2 22+22	1,35 1,20 1,56	690	0,46 1,64 2,51	14,9 14,0 15,1
АО73	10/14	220 380 500	(7+8) 3 (13+13) 2 (17+17) 2	1,56 1,45 1,25	790	0,324 0,984 1,73	17,9 17,6 17,4

Продолжение табл. 81

Обозначение	P, кВт	U, В	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
А81	14/20	220* 380* 500*	(12+12) 2 21+21 28+28	1,45 1,56 1,35	770	0,294 0,89 1,59	20,6 20,6 20,8
А82	20/28	220* 380* 500*	(9+10) 2 (16+16) 2 21+21	1,68 1,30 1,62	870	0,196 0,55 0,93	24,5 25,0 25,2
АО82	14/20	220 380 500	(5+5) 4 (9+8) 2 (11+11) 2	1,62 1,74 1,50	870	0,222 0,656 1,135	25,4 24,4 23,5
АО83	20/28	220* 380 500	(7+7) 3 (6+6) 4 (8+8) 3	1,56 1,45 1,45	1010	0,130 0,386 0,687	28,3 28,1 28,1
А91	28/40	220* 380* 500*	(8+9) 3 (14+15) 2 (19+19) 2	1,68 1,56 1,40	920	0,123 0,368 0,600	35,3 34,4 36,2
А92	40/55	220* 380* 500*	(6+6) 5 (10+11) 3 (14+14) 2	1,56 1,50 1,62	1040	0,069 0,216 0,372	40,8 39,3 40,4
АО93	28/40	220* 380* 500*	(6+6) 5 (10+10) 3 (13+13) 2	1,50 1,50 1,68	1100	0,079 0,218 0,34	41,2 40,6 43,6
АО94	40/55	220* 380* 500*	(4+5) 6 (8+8) 4 (10+11) 3	1,62 1,50 1,50	1240	0,0475 0,148 0,258	48,8 49,0 48,0

* Число параллельных ветвей — две, для остальных машин — одна.

Примечания: 1. Марка провода для АО 6—9-го габаритов — ПСД, для остальных — ПЭЛБО.

2. Шаги обмотки для 4—5-го габаритов: 1—6; для 6—7-го: 1—8; для 8—9-го: 1—10.

Таблица 82. **Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 12/6 полюсов**

Обозначение	*P*, кВт	*U*, В	*n*	*d*, мм	$l_{ср}$, мм	*r*, Ом	*M*, кг
А61	2,0/3,5	220 380 500	26+26 45+45 59+59	1,30 0,96 0,86	430	2,65 8,45 13,8	7,55 7,12 7,55
А62	3,0/5,0	220 380 500	20+20 34+34 45+45	1,56 1,16 1,0	480	1,59 4,86 8,7	9,3 8,75 8,65
АО62	2,0/3,5	220 380 500	23+23 39+39 51+51	1,35 1,04 0,90	480	2,44 6,95 12,1	8,3 8,5 8,1
АО63	3,0/5,0	220 380 500	17+17 29+29 38+38	1,56 1,20 1,04	550	1,55 4,44 7,75	9,32 9,51 9,5
А71	4,5/7,0	220 380 500	(18+18) 2 31+31 41+41	1,25 1,40 1,16	540	1,24 3,44 6,60	12,2 12,9 11,9
А72	6,5/10	220* 380 500	40+40 23+23 30+30	1,20 1,62 1,40	610	0,755 2,16 3,72	14,1 14,2 14,2
АО72	4,5/7,0	220 380 500	(14+14) 2 25+25 33+33	1,40 1,50 1,25	610	0,875 2,72 5,16	13,5 14,0 13,0
АО73	6,5/10	220* 380 500	31+31 (18+18) 2 24+24	1,30 1,20 1,56	710	0,524 1,8 2,8	15,3 15,3 16,9

Обозначение	P, кВт	U, В	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
А81	9/14	220 380 500	(9+9) 3 (15+15) 2 20+20	1,45 1,35 1,68	660	0,504 1,45 2,5	20,5 19,5 19,8
А82	12,5/20	220 380 500	(6+6) 3 (11+11) 2 (14+14) 2	1,68 1,56 1,35	760	0,287 0,92 1,55	21,3 22,0 20,9
АО82	9/14	220 380 500	(7+7) 3 (12+12) 2 16+16	1,50 1,40 1,74	760	0,426 1,27 2,18	20,3 19,8 20,0
АО83	12,5/20	220 380 500	(5+5) 4 (9+9) 3 (12+12) 2	1,56 1,30 1,40	900	0,25 0,804 1,49	24,7 23,0 23,4
А91	18/28	220* 380* 500*	(18+18) 2 30+30 40+40	1,40 1,56 1,35	760	0,208 0,558 0,993	28,6 29,2 29,3
А92	25/40	220* 380* 500*	(13+13) 3 (22+22) 2 29+29	1,35 1,25 1,56	880	0,124 0,368 0,625	33,6 32,4 33,6
АО93	18/28	220* 380* 500*	(13+13) 2 (22+22) 2 29+29	1,68 1,20 1,56	940	0,129 0,43 0,667	37,8 33,0 36,0
АО94	25/40	220* 380* 500*	(10+10) 3 (17+17) 2 (22+22) 2	1,50 1,45 1,20	1080	0,0955 0,26 0,492	40,5 42,5 38,0

* Число параллельных ветвей — три, для остальных машин — одна.

Примечания: 1. Марка провода для двигателей А — ПЭЛБО, АО — ПСД.

2. Шаг обмотки для 6—7-го габаритов: 1—6; 8—9-го: 1—7.

Таблица 83. **Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 6/4 полюса**

Обозначение	P, кВт	U, В	Обмотка на 6 полюсов					Обмотка на 4 полюса				
			n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
АО41*	0,6/1,0	220 380 500	44 76 100	0,69 0,49 0,41	370	4,7 16,1 30,0	1,05 0,94 0,87	31 54 71	0,86 0,62 0,53	440	2,52 8,4 15,2	1,26 1,24 1,20
АО42*	1,0/1,7	220 380 500	31 54 71	0,86 0,62 0,51	450	2,57 8,6 16,8	1,39 1,27 1,14	20 35 46	1,08 0,8 0,69	520	1,21 3,86 8,85	1,63 1,56 1,53
АО41**	0,8	220 380 500	44 76 100	0,80 0,57 0,49	370	3,47 11,8 21,1	1,4 1,25 1,22	31 54 71	0,72 0,53 0,44	440	3,6 11,6 22,0	0,96 0,92 0,84
АО42**	1,3	220 380 500	31 54 71	1,0 0,72 0,62	450	1,91 6,3 11,35	1,88 1,70 1,66	20 35 46	0,86 0,64 0,53	520	1,92 6,05 11,6	1,04 1,01 0,93
АО51*	1,7/2,8	220 380 500	28 48 63	1,16 0,86 0,72	470	1,33 4,15 7,8	2,38 2,25 2,08	20×2 34 45	1,0 1,12 0,96	580	0,79 2,14 3,86	3,1 3,28 3,2

Продолжение табл. 83

Обозначение	P, кВт	U, В	Обмотка на 6 полюсов					Обмотка на 4 полюса				
			n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
АО52*	2,8/4,5	220 380 500	19×2 32 42	0,96 1,08 0,93	570	0,8 2,14 3,8	2,67 2,85 2,77	13×2 22×2 29	1,30 0,96 1,20	680	0,355 1,11 1,86	3,96 3,67 3,77
АО51**	2,1	220 380 500	28 48 63	1,35 1,0 0,86	470	0,985 3,1 5,5	3,21 3,03 2,94	20 34 45	1,20 0,93 0,80	580	1,10 3,12 5,55	2,23 2,28 2,24
АО52**	3,2	220 380 500	19×2 32 42	1,12 1,25 1,08	570	0,59 1,59 2,8	3,64 3,71 3,73	13×2 22 29	1,08 1,16 1,0	680	0,52 1,51 2,7	2,75 2,68 2,64

* Постоянный момент вращения.
** Постоянная мощность.

Примечания: 1. Марка провода — ПЭЛБО.
2 Шаги обмотки на 6 полюсов: 1—8; 2—7; на 4 полюса: 1—12, 2—11, 3—10. Число параллельных ветвей — одна.

Таблица 84. **Обмоточные данные трехскоростных двигателей на 6/4/2 полюса**

Обозначение	U, В	Обмотка на 6 полюсов						Обмотка на 4/2 полюса					
		P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
АО41	220	0,6	44	0,69	370	4,7	1,05	0,75/1,0	32+32	0,57	460	12,3	1,31
	380		76	0,49		16,1	0,94		55+55	0,41		41,0	1,19
	500		100	0,41		30,0	0,87		72+72	0,33		82,5	1,03
АО42	220	1,0	31	0,86	450	2,56	0,93	1,3/1,7	21+21	0,69	540	6,45	1,46
	380		54	0,62		8,6	0,85		37+37	0,49		22,8	1,32
	500		71	0,51		16,8	0,76		49+49	0,41		43,0	1,25
АО51	220	1,7	28	1,12	470	1,43	2,22	2,1/2,8	20+20	1,0	600	3,28	3,24
	380		48	0,83		4,45	2,1		34+34	0,74		10,2	3,01
	500		63	0,72		7,8	2,08		45+45	0,62		19,1	2,82
АО52	220	2,8	18×2	1,0	570	0,7	2,76	3,5/4,5	14+14	1,20	700	1,86	3,78
	380		31	1,08		2,06	2,77		24+24	0,90		5,68	3,65
	500		41	0,93		3,8	2,71		31+31	0,77		10,0	3,46

Примечания: 1. Марка провода — ПЭЛБО.

2. Шаги обмотки на 6 полюсов: 1—8, 2—7; обмотки на 4/2 полюса: 1—12, 2—11, 3—10 (см. рис. 49). Число параллельных ветвей — одна.

Таблица 85. **Обмоточные данные трехскоростных двигателей на 8/6/4 полюса**

Обозначение	U, В	Обмотка на 8/4 полюса						Обмотка на 6 полюсов					
		P кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
А61	220 380 500	2,5/3,5	20+20 34+34 45+45	1,0 0,77 0,67	500	4,02 11,5 20,1	4,04 4,23 4,09	3,0	9+9 16+16 21+21	1,56 1,12 0,96	520	0,774 2,65 4,75	4,62 4,24 4,0
А62	220 380 500	3,5/5,0	14+14 25+25 33+33	1,2 0,93 0,77	550	2,15 6,83 12,3	4,45 4,7 4,34	4,5	(7+7) 2 11+12 16+16	1,25 1,30 1,12	570	0,512 1,51 2,91	5,15 4,49 4,64
АО62	220 380 500	2,5/3,5	17+17 30+30 40+40	1,08 0,80 0,69	550	3,22 10,35 18,6	4,58 4,09 4,08	3,0	9+9 15+15 20+20	1,50 1,16 0,96	570	0,915 2,55 4,97	4,84 4,84 4,45
АО63	220 380 500	3,5/5,0	13+13 22+22 29+29	1,30 0,96 0,86	620	1,91 5,95 9,76	5,63 5,26 5,18	4,5	6+6 11+11 14+14	1,81 1,35 1,16	640	0,471 1,55 2,68	5,25 5,36 5,08
А71	220 380 500	5/7	13+13 24+24 31+31	1,5 1,04 0,93	590	1,36 5,24 8,55	6,84 6,18 6,3	6,5	(6+6) 2 10+11 14+14	1,45 1,56 1,35	630	0,362 1,092 1,95	6,85 6,48 6,48
А72	220 380 500	7/10	(10+10) 2 17+17 22+22	1,2 1,3 1,12	680	0,95 2,74 4,78	7,68 7,92 7,68	9	(5+5) 3 (8+8) 2 (10+10) 2	1,35 1,3 1,12	700	0,25 0,621 1,11	7,92 7,92 7,38

АО72	220 380 500	5/7	12+12 20+20 26+26	1,5 1,12 0,96	680	1,45 4,34 7,8	7,56 7,14 6,84	6,5	(5+5) 2 (9+9) 2 12+12	1,56 1,16 1,45	700	0,289 0,938 1,61	7,38 7,2 7,38
АО73	220 380 500	7/10	(9+9) 2 15+15 19+19	1,16 1,25 1,12	780	1,05 3,01 4,72	7,86 7,5 7,8	9,0	(4+4) 3 (7+7) 2 (9+9) 2	1,45 1,35 1,16	800	0,204 0,62 1,07	8,82 8,64 8,28
А81	220 380 500	10/14	(7+7) 2 12+12 16+16	1,35 1,45 1,25	740	0,76 2,27 4,05	10,2 9,9 9,85	12,5	9+9* (5+5) 2 (7+7) 2	1,74 1,68 1,45	830	0,146 0,392 0,74	12,1 12,8 13,2
А82	220 380 500	14/20	(5+5) 2 9+9 12+12	1,62 1,68 1,45	840	0,428 1,435 2,58	11,9 11,3 11,3	18,0	(7+7) 2* 12+12* 16+16*	1,40 1,50 1,30	930	0,098 0,296 0,524	13,7 13,3 13,3
АО82	220 380 500	10/14	(5+5) 2 9+9 12+12	1,50 1,62 1,40	840	0,50 1,54 2,76	10,6 10,8 10,8	12,5	8+8* 14+14* (6+6) 2	1,74 1,35 1,45	930	0,145 0,425 0,71	12,3 13,1 13,2
АО83	220 380 500	14/20	(4+4) 2 (7+7) 2 9+9	1,74 1,35 1,68	980	0,347 1,01 1,67	13,1 13,8 13,6	18	(6+6) 2* 10+10* 13+13*	1,45 1,56 1,36	1070	0,09 0,262 0,455	15,1 14,2 14,1

Продолжение табл. 85

Обозначение	U, В	Обмотка на 8/4 полюса						Обмотка на 6 полюсов					
		P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
А91	220	20/28	(4+5) 4	1,40	860	0,30	15,8	25	(6+6) 3*	1,40	960	0,057	18,3
	380		(8+8) 2	1,50		0,82	16,1		(11+11) 2*	1,25		0,20	17,7
	500		(11+11) 2	1,25		1,61	15,7		(9+9) 2**	1,40		0,294	18,2
А92	220	28/40	(3+4) 4	1,62	980	0,175	19,4	36	(5+5) 3*	1,56	1080	0,044	21,2
	380		(6+6) 3	1,40		0,535	18,6		(8+8) 2*	1,50		0,115	20,7
	500		(9+9) 2	1,50		0,93	21,0		(7+7) 2**	1,62		0,197	21,2
АО93	220	20/28	(3+3) 4	1,68	1040	0,148	19,6	25	(4+4) 3*	1,68	1140	0,032	21,5
	380		(5+6) 4	1,20		0,53	18,9		(7+7) 3*	1,20		0,11	19,4
	500		(7+7) 2	1,56		0,803	19,9		(9+9) 2*	1,35		0,167	20,7
АО94	220	28/40	(2+3) 6	1,50	1180	0,117	26,8	36	(3+3) 4*	1,68	1280	0,02	24,3
	380		(4+5) 3	1,62		0,362	22,9		(5+5) 3*	1,56		0,052	26,0
	500		(5+6) 4	1,20		0,605	21,0		(7+7) 2*	1,56		0,11	23,8

* Число параллельных ветвей — три.
** Число параллельных ветвей — две, для остальных — одна.

Примечания: 1. Марка провода для двигателей А — ПЭЛБО, для АО — ПСД.
2. Шаг обмотки на 8/4 полюсов: 1—8 для 6—7-го габаритов, кроме А71, для которого шаг равен 1—7; 1—10 для 8—9-го габаритов; на 6 полюсов: 1—8 для 6—7-го габаритов; 1—11 для 8—9-го габаритов.

Таблица 86. **Обмоточные данные четырехскоростных двигателей на 12/8/6/4 полюсов**

Обозначение	U, В	Обмотка на 12/6 полюсов						Обмотка на 8/4 полюса					
		P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
A61	220	1,3/2,5	29+29	0,90	400	5,75	3,86	2,0/3,0	19+19	0,93	520	4,85	3,62
	380		50+50	0,64		19,7	3,50		33+33	0,72		13,7	3,8
	500		66+66	0,55		35,0	3,34		43+43	0,59		27,1	3,33
A62	220	1,7/3,2	23+23	1,04	480	4,1	4,83	2,4/4,0	16+16	1,0	570	3,67	3,68
	380		39+39	0,77		12,7	4,5		27+27	0,77		10,4	3,88
	500		51+51	0,67		21,9	4,46		35+35	0,67		17,85	3,62
AO62	220	1,3/2,5	23+23	0,96	480	4,81	4,30	2,0/3,0	16+16	1,0	570	3,68	3,86
	380		41+41	0,72		15,25	3,98		28+28	0,72		12,4	3,22
	500		53+53	0,62		26,6	3,80		37+37	0,59		24,4	2,85
AO63	220	2,0/3,5	17+17	1,16	550	2,8	5,30	3,0/4,5	12+12	1,16	640	2,3	4,33
	380		30+30	0,80		10,35	4,31		21+21	0,86		7,3	3,88
	500		39+39	0,72		16,65	4,51		27+27	0,72		13,7	3,65
A71	220	3,0/5,0	19+19	1,30	530	2,39	6,84	4,0/6,5	13+13	1,35	630	1,81	5,94
	380		32+32	1,0		6,82	6,84		22+22	1,0		5,58	5,52
	500		42+42	0,86		12,1	7,56		29+29	0,86		9,93	5,40

Продолжение табл. 86

Обозначение	U, В	Обмотка на 12/6 полюсов						Обмотка на 8/4 полюса					
		P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	$l_{ср}$, мм	r, Ом	M, кг
А72	220	4,0/7,2	14+14	1,56	600	1,39	8,1	6,0/9,0	(9+9) 2	1,12	700	1,0	6,30
	380		24+24	1,16		4,28	7,74		16+16	1,20		3,14	6,48
	500		31+31	1,0		7,48	7,56		21+21	1,04		5,46	6,36
АО72	220	3,0/5,0	15+15	1,45	600	1,72	7,74	4,0/6,5	10+10	1,50	700	1,24	6,48
	380		26+26	1,04		5,8	7,04		17+17	1,08		4,08	5,82
	500		34+34	0,93		9,56	6,84		22+22	0,96		6,71	5,94
АО73	220	4,0/7,0	(12+12) 2	1,08	700	1,44	8,1	6,0/9,0	(8+8) 2	1,12	800	1,02	6,78
	380		20+20	1,25		3,6	9,0		13+13	1,25		2,67	6,72
	500		26+26	1,04		6,76	8,28		17+17	1,08		4,67	6,60
А81	220	6,0/10	(9+9) 2	1,30	630	0,895	10,4	8,5/12,5	(6+7) 2	1,30	800	0,82	9,48
	380		16+16	1,40		2,74	10,6		11+11	1,40		2,42	9,12
	500		21+21	1,20		4,94	10,1		14+15	1,20		4,34	8,88
А82	220	8,0/14	(7+7) 2	1,50	730	0,604	12,4	11/18	(5+5) 2	1,45	900	0,574	10,2
	380		12+12	1,62		1,77	12,2		8+9	1,56		1,69	9,85
	500		16+16	1,40		3,19	12,2		11+11	1,35		2,92	9,60

АО82	220 380 500	6,0/10	(8+8) 2 13+13 17+17	1,40 1,50 1,35	730	0,8 2,24 3,66	12,8 11,7 12,4	8,5/12,5	(5+5) 2 9+9 12+12	1,40 1,45 1,25	900	0,626 2,10 3,78	9,82 9,35 9,35
АО83	220 380 500	8,5/14	(6+6) 2 10+10 13+13	1,56 1,68 1,50	870	0,576 1,65 2,67	14,2 13,4 13,9	11/18	(4+4) 2 7+7 9+9	1,56 1,68 1,50	1040	0,465 1,41 2,26	11,3 11,2 11,5
А91	220 380 500	12/20	(6+6) 3 (11+11) 3 14+14	1,50 1,08 1,68	740	0,352 1,24 1,98	15,7 15,4 15,5	17/25	(4+5) 4 (8+8) 2 (11+11) 2	1,30 1,35 1,16	920	0,328 1,07 2,01	15,2 14,4 14,5
А92	220 380 500	17/28	(5+5) 3 (8+8) 3 (10+10) 3	1,62 1,25 1,12	860	0,293 0,785 1,22	18,4 17,5 17,5	24/36	(3+4) 6 (6+6) 3 (8+8) 2	1,20 1,30 1,40	1040	0,226 0,66 1,14	17,2 17,0 17,4
АО93	220 380 500	12/20	(5+5) 3 (8+8) 2 (10+10) 2	1,56 1,50 1,35	920	0,338 0,875 1,35	18,8 18,3 18,6	17/25	(3+3) 4 (5+6) 2 (7+7) 2	1,56 1,62 1,40	1100	0,228 0,728 1,21	17,9 17,3 16,6
АО94	220 380 500	17/28	(10+10) 2* (6+6) 3 (8+8) 2	1,35 1,45 1,56	1060	0,172 0,542 0,935	20,7 22,3 22,8	24/36	(2+3) 6 (4+5) 3 (5+6) 2	1,35 1,45 1,62	1240	0,151 0,475 0,695	19,2 19,3 19,5

* Число параллельных ветвей — три, для остальных машин — одна.

Примечания: 1. Марка провода для двигателей А — ПЭЛБО, для АО — ПСД.

2. Шаг обмотки на 12/6 полюсов: 1—5 для двигателей А 61; 1—6 для А62, АО62, АО63 и 7-го габарита; 1—7 для 8—9-го габаритов; на 8/4 полюса: 1—8 для 6—7-го габаритов; 1—10 для 8—9-го габаритов.

52. ДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ А2, АО2 1—9-го ГАБАРИТОВ

Таблица 87. Обмоточные данные двигателей при $U=220/380$ В

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	a	r, Ом	M, кг
АОЛ2-11-2	0,8	97	0,64	11; 9	—	9,28	1,48
АОЛС2-11-2	0,9	93	0,64	11; 9	—	8,75	1,41
АО2-11-2	0,8	97	0,64	11; 9	—	8,97	1,46
АОС2-11-2	0,9	93	0,64	11; 9	—	8,60	1,40
АОЛ2-12-2	1,1	78	0,72	11; 9	—	6,28	1,58
АОЛС2-12-2	1,3	75	0,72	11; 9	—	6,02	1,51
АО2-12-2	1,1	78	0,72	11; 9	—	6,05	1,56
АОС2-12-2	1,3	75	0,72	11; 9	—	5,83	1,60
АОЛ2-11-4	0,6	129	0,57	7; 5	—	12,5	1,25
АОЛС-2-11-4	0,6	124	0,57	7; 5	—	12,0	1,19
АО2-11-4	0,6	129	0,57	7; 5	—	11,6	1,19
АОС2-11-4	0,6	128	0,57	7; 5	—	11,5	1,18
АОЛ2-12-4	0,8	107	0,62	7; 5	—	9,40	1,31
АОЛС2-12-4	0,9	101	0,64	7; 5	—	8,35	1,32
АО2-12-4	0,8	107	0,62	7; 5	—	8,80	1,26
АОС2-12-4	0,9	98	0,64	7; 5	—	7,57	1,23
АОЛ2-11-6	0,4	120	0,55	7; 5	—	17,5	1,51
АОЛС2-11-6	0,4	120	0,55	7; 5	—	17,5	1,51
АО2-11-6	0,4	122	0,55	7; 5	—	17,1	1,51
АОС2-11-6	0,4	120	0,57	7; 5	—	15,6	1,6
АОЛ2-12-6	0,6	95	0,64	7; 5	—	10,8	1,73
АОЛС2-12-6	0,6	94	0,64	7; 5	—	10,7	1,69
АО2-12-6	0,6	95	0,64	7; 5	—	10,4	1,70
АОС2-16-2	0,6	94	0,64	7; 5	—	10,3	1,68
АОЛ2-21-2	1,5	69	0,86	11; 9	—	4,19	2,15
АОЛС2-21-2	1,8	66	0,90	11; 9	—	3,67	2,25
АО2-21-2	1,5	69	0,86	11; 9	—	4,10	2,12
АОС2-21-2	1,8	66	0,90	11; 9	—	3,58	2,22
АОЛ2-22-2	2,2	54	0,96	11; 9	—	2,92	2,32
АОЛС2-22-2	2,5	50	1,0	11; 9	—	2,50	2,34
АО2-22-2	2,2	54	0,96	11; 9	—	2,86	2,30
АОС2-22-2	2,5	50	1,0	11; 9	—	2,45	2,32

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	a	r, Ом	M, кг
АОЛ2-21-4	1,1	92	0,77	7; 5	—	5,69	1,89
АОЛС2-21-4	1,3	85	0,80	7; 5	—	4,88	1,88
АО2-21-4	1,1	92	0,77	7; 5	—	5,55	1,86
АОС2-21-4	1,3	83	0,83	7; 5	—	4,33	1,96
АОТ2-21-4	0,8	103	0,74	7; 5	—	6,75	1,92
АОЛ2-22-4	1,5	71	0,90	7; 5	—	3,65	2,24
АОЛС2-22-4	2,0	62	0,96	7; 5	—	2,80	2,23
АО2-22-4	1,5	71	0,90	7; 5	—	3,55	2,20
АОС2-22-4	2,0	60	0,96	7; 5	—	2,57	2,13
АОТ2-22-4	1,1	80	0,86	7; 5	—	4,38	2,26
АОЛ2-21-6	0,8	85	0,69	7; 5	—	8,48	1,81
АОЛС2-21-6	1,0	78	0,72	7; 5	—	7,15	1,79
АО2-21-6	0,8	85	0,69	7; 5	—	8,10	1,74
АОС2-21-6	1,0	75	0,77	7; 5	—	5,71	1,90
АОТ2-21-6	0,6	100	0,67	7; 5	—	10,10	1,93
АОЛ2-22-6	1,1	65	0,8	7; 5	—	5,57	2,15
АОЛС2-22-6	1,3	58	0,83	7; 5	—	4,61	2,06
АО2-22-6	1,1	65	0,8	7; 5	—	5,30	2,06
АОС2-22-6	1,3	58	0,86	7; 5	—	4,08	2,32
АОТ2-22-6	0,8	79	0,74	7; 5	—	7,55	2,14
АО2-31-2	3,0	26+26	1,16	8	—	1,84	3,15
АОС2-31-2	3,5	25+25	1,25	8	—	1,52	3,51
АО2-31-2*	3,0	45	1,16	11; 9	—	1,77	3,05
АО2-32-2	4,0	(21+21) 2	0,96	8	—	1,19	3,82
АОС2-32-2	4,8	20+20	1,4	8	—	1,07	3,88
АО2-32-2*	4,0	37×2	0,96	11; 9	—	1,14	3,66
АОЛ2-31-4	2,2	42	1,08	11; 9; 7	—	2,34	2,99
АОЛС2-31-4	3,0	39	1,12	11; 9; 7	—	2,01	3,0
АО2-31-4	2,2	43	1,08	11; 9; 7	—	2,4	3,09
АО2-31-4*	2,2	45	1,04	11; 9; 7	—	2,61	2,91
АОС2-31-4	3,0	38	1,16	11; 9; 7	—	1,83	3,15
АОТ2-31-4	1,5	50	1,00	11; 9; 7	—	3,25	3,08
АОЛ2-32-4	3,0	33	1,25	11; 9; 7	—	1,53	3,49
АОЛС2-32-4	4,0	30×2	0,93	11; 9; 7	—	1,25	3,53
АО2-32-4	3,0	34	1,25	11; 9; 7	—	1,58	3,63
АО2-32-4*	3,0	35	1,16	11; 9; 7	—	1,77	3,04
АОС2-32-4	4,0	30	1,30	11; 9; 7	—	1,28	3,47
АОТ2-32-4	2,2	38	1,16	11; 9; 7	—	2,05	3,51

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	a	r, Ом	M, кг
АОЛ2-31-6	1,5	60	1,04	7; 5	—	3,12	3,42
АОЛС2-31-6	2,0	56	1,08	7; 5	—	2,68	3,44
АО2-31-6	1,5	60	1,00	7; 5	—	3,45	3,28
АО2-31-6*	1,5	59	0,86	7; 5	—	4,20	2,18
АОС2-31-6	2,0	54	1,04	7; 5	—	2,87	3,19
АОТ2-31-6	1,1	71	0,96	7; 5	—	4,45	3,57
АОЛ2-32-6	2,2	46×2	0,83	7; 5	—	2,12	3,8
АОЛС2-32-6	2,7	43	1,25	7; 5	—	1,75	4,0
АО2-32-6	2,2	46	1,12	7; 5	—	2,39	3,55
АО2-32-6*	2,2	45	1,04	7; 5	—	2,59	2,88
АОС2-32-6	2,7	43	1,20	7; 5	—	1,95	3,83
АОТ2-32-6	1,5	54	1,12	7; 5	—	2,80	4,16
АО2-41-2	5,5	31×2	1,25	11; 9	—	0,645	6,05
АО2-42-2	7,5	51×2	1,0	11; 9	2	0,457	7,06
АО2-41-4	4,0	33×2	1,08	11; 9; 7	—	1,10	5,76
АОП2-41-4	4,0	30×2	1,12	11; 9; 7	—	0,93	5,63
АОС2-41-4	5,2	29×2	1,12	11; 9; 7	—	0,90	5,43
АОТ2-41-4	3,0	36	1,45	11; 9; 7	—	1,33	5,65
АОК2-41-4	3,0	36	1,45	11; 9; 7	—	1,33	5,65
АО2-42-4	5,5	25×2	1,20	11; 9; 7	—	0,765	6,10
АОП2-42-4	5,5	23×2	1,3	11; 9; 7	—	0,600	6,55
АОС2-42-4	7,5	22×2	1,3	11; 9; 7	—	0,572	6,27
АОТ2-42-4	4,0	28×2	1,16	11; 9; 7	—	0,914	6,37
АОК2-42-4	4,0	26×2	1,20	11; 9; 7	—	0,80	6,50
АО2-41-6	3,0	41	1,35	7; 5	—	1,50	4,76
АОП2-41-6	3,0	36	1,50	7; 5	—	1,06	5,16
АОС2-41-6	4,0	36×2	1,0	7; 5	—	1,19	4,61
АОТ2-41-6	2,2	44	1,35	7; 5	—	1,60	5,10
АОК2-41-6	2,2	46	1,35	7; 5	—	1,68	5,34
АО2-42-6	4,0	32×2	1,08	7; 5	—	1,05	5,51
АОП2-42-6	4,0	28×2	1,16	7; 5	—	0,797	5,56
АОС2-42-6	4,7	28×2	1,16	7; 5	—	0,797	5,56
АОТ2-42-6	3,0	34	1,56	7; 5	—	1,07	6,70
АОК2-42-6	3,0	33×2	1,12	7; 5	—	1,00	6,10
АО2-41-8	2,2	26+26	1,12	4	—	2,39	3,62
АОП2-41-8	2,2	23+23	1,25	4	—	1,66	3,89
АОС2-41-8	3,0	23+23	1,20	4	—	1,80	3,61
АОТ2-41-8	1,5	30+30	1,16	4	—	2,50	4,38

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	a	r, Ом	M, кг
АО2-42-8	3,0	(20+20) 2	0,90	4	—	1,68	4,23
АОП2-42-8	3,0	18+18	1,40	4	—	1,22	4,51
АОС2-42-8	3,5	18+18	1,35	4	—	1,31	4,18
АОТ2-42-8	2,2	22+22	1,35	4	—	1,60	5,10
АО2-51-2	10	(25+25) 2	1,25	9	2	0,287	10,7
АОС2-51-2	10	(25+25) 2	1,25	9	2	0,287	10,7
АО2-52-2	13	(20+20) 3	1,16	9	2	0,194	12,1
АОС2-52-2	13	(20+20) 3	1,16	9	2	0,194	12,1
АО2-51-4	7,5	(13+13) 2	1,35	7	—	0,587	7,45
АОП2-51-4	7,5	(11+11) 2	1,50	7	—	0,40	7,75
АОС2-51-4	9,4	(11+11) 2	1,50	7	—	0,40	7,75
АОТ2-51-4	5,5	(14+14) 2	1,30	7	—	0,68	7,45
АОК2-51-4	5,5	(13+13) 2	1,35	7	—	0,59	7,4
АО2-52-4	10	(10+10) 3	1,25	7	—	0,39	8,2
АОП2-52-4	10	(9+9) 3	1,35	7	—	0,30	8,6
АОС2-52-4	12	(9+9) 3	1,35	7	—	0,30	8,6
АОТ2-52-4	7,5	(11+11) 3	1,20	7	—	0,47	8,4
АОК2-52-4	7,5	(10+10) 3	1,25	7	—	0,39	8,2
АО2-51-6	5,5	(15+15) 2	1,16	5	—	0,812	5,65
АОП2-51-6	5,5	(14+14) 2	1,25	5	—	0,653	6,1
АОС2-51-6	7,0	(14+14) 2	1,20	5	—	0,71	5,7
АОТ2-51-6	4,0	(16+16) 2	1,16	5	—	0,865	6,05
АОК2-51-6	4,0	19+19	1,50	5	—	1,23	5,95
АО2-52-6	7,5	(11+11) 2	1,40	5	—	0,493	7,25
АОП2-52-6	7,5	(10+10) 2	1,50	5	—	0,387	7,5
АОС2-52-6	9,0	(10+10) 2	1,45	5	—	0,418	7,05
АОТ2-52-6	5,5	(12+12) 2	1,30	5	—	0,623	6,8
АОК2-52-6	5,5	(13+13) 2	1,25	5	—	0,73	6,85
АО2-51-8	4,0	(17+17) 2	1,12	4	—	0,94	5,65
АОП2-51-8	4,0	16+16	1,62	4	—	0,84	5,6
АОС2-51-8	5,0	(16+16) 2	1,16	4	—	0,82	5,7
АОТ2-51-8	3,0	(19+19) 2	1,04	4	—	1,21	5,45
АОК2-51-8	3,0	23+23	1,35	4	—	1,74	5,5
АО2-52-8	5,5	(13+13) 2	1,25	4	—	0,695	6,5
АОП2-52-8	5,5	(12+12) 2	1,35	4	—	0,55	7,0
АОС2-52-8	6,4	(12+12) 2	1,30	4	—	0,593	6,5
АОТ2-52-8	4,0	(15+15) 2	1,20	4	—	0,873	6,95
АОК2-52-8	4,0	(17+17) 2	1,08	4	—	1,22	6,4

Обозначение	*P*, кВт	*n*	*d*, мм	*y*	*a*	*r*, Ом	*M*, кг
А2-61-2	17	(15+15) 2	1,30	13	2	0,235	10,2
А2-62-2	22	(13+13) 3	1,20	12	2	0,154	11,8
АО2-62-2	17	(13+13) 2	1,45	11	2	0,167	11,1
А2-61-4	13	(20+20) 2	1,20	7	2	0,29	9,36
АО2-61-4	13	(19+19) 2	1,25	7	2	0,256	9,56
АОП2-61-4	13	(18+18) 2	1,30	7	2	0,235	10,2
АОС2-61-4	14,5	(17+17) 2	1,35	7	2	0,206	10,4
АОТ2-61-4	10	(19+19) 2	1,30	7	2	0,249	10,8
АОК2-61-4	10	(19+19) 2	1,25	7	2	0,27	9,82
А2-62-4	17	(16+16) 2	1,35	7	2	0,204	10,3
АО2-62-4	17	(15+15) 2	1,40	7	2	0,185	10,8
АОП2-62-4	17	(14+14) 2	1,45	7	2	0,161	10,9
АОС2-62-4	18,5	(13+13) 2	1,50	7	2	0,140	10,8
АОТ2-62-4	13,0	(16+16) 2	1,40	7	2	0,198	11,5
АОК2-62-4	13,0	(15+15) 2	1,45	7	2	0,172	11,6
А2-61-6	10	(19+19) 2	1,08	7	2	0,45	9,36
АО2-61-6	10	(17+17) 2	1,08	7	2	0,444	9,28
АОП2-61-6	10	(16+16) 2	1,12	7	2	0,392	9,45
АОС2-61-6	12,5	(15+15) 2	1,16	7	2	0,344	9,5
АОТ2-61-6	7,5	18+18	1,56	7	2	0,455	10,2
АОК2-61-6	7,5	18+18	1,50	7	2	0,495	10,0
А2-62-6	13	(14+14) 2	1,25	7	2	0,287	10,8
АО2-62-6	13	(13+13) 2	1,25	7	2	0,290	10,8
АОП2-62-6	13	(12+12) 2	1,30	7	2	0,247	10,8
АОС2-62-6	15,5	(12+12) 2	1,30	7	2	0,247	10,8
АОТ2-62-6	10	(14+14) 2	1,25	7	2	0,313	11,6
АОК2-62-6	10	(14+14) 2	1,20	7	2	0,34	11,1
А2-61-8	7,5	22+22	1,40	6	2	0,591	8,7
АО2-61-8	7,5	20+20	1,45	6	2	0,562	9,6
АОП2-61-8	7,5	19+19	1,45	6	2	0,535	10,0
АОС2-61-8	10,0	17+17	1,56	6	2	0,413	9,4
АОТ2-61-8	5,5	21+21	1,45	6	2	0,592	11,0
АОК2-61-8	5,5	21+21	1,40	6	2	0,645	9,6
А2-62-8	10,0	(16+16) 2	1,20	6	2	0,344	11,1
АО2-62-8	10,0	(15+15) 2	1,20	6	2	0,352	11,1
АОП2-62-8	10,0	(15+15) 2	1,16	6	2	0,375	11,6
АОС2-62-8	12,5	(15+15) 2	1,16	6	2	0,375	10,4
АОТ2-62-8	7,5	(16+16) 2	1,16	6	2	0,40	12,4
АОК2-62-8	7,5	16+16	1,62	6	2	0,398	11,0

Обозначение	*P*, кВт	*n*	*d*, мм	*y*	*a*	*r*, Ом	*M*, кг
А2-71-2	30	(12+12) 3	1,4	11	2	0,117	14,9
АО2-71-2	22	(12+13) 3	1,35	11	2	0,146	16,3
А2-72-2	40	(9+9) 3	1,62	11	2	0,077	16,3
АО2-72-2	30	(9+10) 3	1,56	11	2	0,083	16,3
А2-71-4	22	(15+15) 2	1,56	7	2	0,150	13,2
АО2-71-4	22	(25+25) 2	1,20	7	4	0,120	14,8
АОП2-71-4	22	(11+11) 3	1,50	7	2	0,090	15,2
АОС2-71-4	22	(12+12) 3	1,45	7	2	0,106	15,4
АОТ2-71-4	17	(14+14) 3	1,35	7	2	0,143	15,6
АОК2-71-4	17	(14+14) 3	1,30	7	2	0,154	14,7
А2-72-4	30	(11+11) 3	1,50	7	2	0,086	15,2
АО2-72-4	30	(10+10) 3	1,56	7	2	0,080	16,5
АОП2-72-4	30	(9+9) 3	1,62	7	2	0,082	16,0
АОС2-72-4	27	(9+9) 3	1,62	7	2	0,082	16,0
АОТ2-72-4	22	(12+12) 3	1,50	7	2	0,108	18,3
АОК2-72-4	22	(11+11) 3	1,50	7	2	0,100	15,8
А2-71-6	17	(14+14) 2	1,35	7	2	0,253	12,5
АО2-71-6	17	(12+12) 2	1,45	7	2	0,207	13,5
АОП2-71-6	17	(11+11) 2	1,50	7	2	0,176	13,2
АОС2-71-6	19	(17+17) 2	1,20	7	3	0,189	13,1
АОТ2-71-6	13	(13+13) 2	1,40	7	2	0,239	13,6
АОК2-71-6	13	(14+14) 2	1,35	7	2	0,300	13,6
А2-72-6	22	(11+11) 2	1,56	7	2	0,164	14,3
АО2-72-6	22	(10+10) 2	1,62	7	2	0,154	15,5
АОП2-72-6	22	(9+9) 3	1,35	7	2	0,132	14,6
АОС2-72-6	23	(14+14) 2	1,30	7	3	0,154	14,1
АОТ2-72-6	17	(10+11) 2	1,56	7	2	0,173	15,2
АОК2-72-6	17	(11+11) 2	1,50	7	2	0,198	14,7
А2-71-8	13	(16+16) 2	1,25	6	2	0,310	11,3
АО2-71-8	13	(15+15) 2	1,30	6	2	0,302	12,7
АОП2-71-8	13	(13+13) 2	1,40	6	2	0,225	12,8
АОС2-71-8	15	(14+14) 2	1,35	6	2	0,263	12,8
АОТ2-71-8	10	(15+15) 2	1,30	6	2	0,301	12,7
АОК2-71-8	10	(16+16) 2	1,25	6	2	0,350	12,7
А2-72-8	17	(13+13) 2	1,40	6	2	0,226	13,0
АО2-72-8	17	(11+11) 2	1,50	6	2	0,186	13,9
АОП2-72-8	17	(10+10) 2	1,56	6	2	0,156	13,7
АОС2-72-8	18	(11+11) 2	1,50	6	2	0,186	13,9
АОТ2-72-8	13	(12+12) 2	1,50	6	2	0,203	15,2
АОК2-72-8	13	(13+13) 2	1,40	6	2	0,255	14,4

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	a	r, Ом	M, кг
А2-81-2	55	(9+8) 5	1,50	11	2	0,054	25,1
АО2-81-2	40	(8+9) 5	1,50	11	2	0,057	26,6
А2-82-2	75	(6+7) 6	1,56	11	2	0,035	27,4
АО2-82-2	55	(7+7) 5	1,62	11	2	0,043	27,3
А2-81-4	40	(17+17) 2	1,56	10	4	0,0692	24,1
АО2-81-4	40	(15+15) 2	1,62	10	4	0,0631	25,7
АО2-81-4**	40	(16+16) 2	1,56	—	4	0,0712	25,7
АОП2-81-4	40	(7+7) 5	1,50	10	2	0,0566	26,8
АОС2-81-4	40	(13+13) 3	1,40	10	4	0,0504	26,0
АК2-81-4	40	(16+16) 2	1,56	10	4	0,0725	25,7
А2-82-4	55	(13+13) 3	1,45	10	4	0,0455	26,6
АО2-82-4	55	(11+11) 3	1,56	10	4	0,0380	29,8
АОП2-82-4	55	(10+10) 4	1,45	10	4	0,0306	32,4
АОС2-82-4	47	(11+11) 3	1,50	10	4	0,0419	28,6
АК2-82-4	55	(11+11) 3	1,56	10	4	0,0390	30,6
А2-81-6	30	25+25	1,50	10	6	0,123	20,7
АО2-81-6	30	(7+7) 3	1,62	10	2	0,101	23,0
АОП2-81-6	30	(10+10) 3	1,35	10	3	0,095	23,9
АОС2-81-6	33	(10+10) 3	1,35	10	3	0,095	23,9
АК2-81-6	30	(10+10) 3	1,35	10	3	0,092	23,4
А2-82-6	40	(10+10) 3	1,35	10	3	0,092	22,6
АО2-82-6	40	(8+8) 3	1,50	10	3	0,0696	26,4
АОП2-82-6	40	(15+15) 2	1,40	10	6	0,0576	29,8
АОС2-82-6	40	(15+15) 2	1,35	10	6	0,0621	27,8
АК2-82-6	40	(15+15) 2	1,35	10	6	0,0605	27,0
А2-81-8	22	21+21	1,62	7	4	0,177	18,0
АО2-81-8	22	(9+9) 3	1,40	7	2	0,157	20,0
АОП2-81-8	22	(17+17) 2	1,25	7	4	0,128	21,9
АОС2-81-8	27,5	(16+16) 2	1,35	7	4	0,112	22,2
АК2-81-8	22	(9+9) 3	1,40	7	2	0,157	20,3
А2-82-8	30	(8+8) 3	1,56	7	2	0,112	22,0
АО2-82-8	30	(7+7) 3	1,62	7	2	0,107	24,7
АОП2-82-8	30	(13+13) 3	1,20	7	4	0,0907	25,5
АОС2-82-8	33	(12+12) 2	1,56	7	4	0,0744	26,4
АК2-82-8	30	(13+13) 2	1,45	7	4	0,0935	25,0
АО2-81-10	17	(11+11) 3	1,35	5	2	0,160	17,6
АОП2-81-10	17	(10+10) 3	1,45	5	2	0,125	18,5
АОС2-81-10	19,8	(9+9) 3	1,56	5	2	0,0975	19,0

Обозначение	P, кВт	n	d мм	y	a	r, Ом	M, кг
АО2-82-10	22	(23+23) 2	1,16	5	5	0,125	21,0
АОП2-82-10	22	(8+8) 4	1,40	5	2	0,0815	21,4
АОС2-82-10	24,3	(7+7) 4	1,50	5	2	0,0710	21,3
А2-91-2	100	(4+5) 9	1,62	15	2	0,0209	43,0
АО2-91-2	75	(5+5) 8	1,62	15	2	0,0282	45,7
А2-92-2	125	(3+4) 11	1,62	15	2	0,0144	44,0
АО2-92-2	100	(4+4) 10	1,62	15	2	0,0195	49,5
А2-91-4	75	(10+10) 4	1,50	12	4	0,032	38,5
АО2-91-4	75	(9+9) 4	1,62	12	4	0,0282	45,7
АОП2-91-4	75	(8+8) 5	1,50	12	4	0,0234	44,2
АОС2-91-4	58	(9+9) 4	1,62	12	4	0,0283	48,2
АК2-91-4	75	(10+10) 4	1,50	12	4	0,0326	39,0
А2-92-4	100	(8+8) 5	1,56	12	4	0,0209	44,6
АО2-92-4	100	(7+7) 5	1,62	12	4	0,0203	51,4
АОП2-92-4	100	(6+6) 6	1,62	12	4	0,0142	53,6
АОС2-92-4	76,8	(7+7) 5	1,62	12	4	0,0204	53,4
АК2 92-4	100	(8+8) 5	1,56	12	4	0,021	46,3
А2-91-6	55	(17+17) 2	1,4	10	6	0,0618	31,5
АО2-91-6	55	(7+7) 4	1,5	10	3	0,0508	34,3
АОП2-91-6	55	(7+7) 4	1,5	10	3	0,049	33,2
АОС2-91-6	49,5	(7+7) 4	1,5	10	3	0,0482	34,5
АК2-91-6	55	(17+17) 2	1,4	10	6	0,059	31,1
А2-92-6	75	(6+6) 5	1,50	10	3	0,0348	36,7
АО2-92-6	75	(11+10) 3	1,50	10	6	0,0296	44,8
АОП2-92-6	75	(5+5) 6	1,45	10	3	0,0294	38,7
АОС2-92-6	67,7	(5+5) 6	1,45	10	3	0,029	39,6
АК2-92-6	75	(6+6) 5	1,50	10	3	0,035	37,0
А2-91-8	40	(14+14) 2	1,56	7	4	0,074	25,9
АО2-91-8	40	(12+12) 2	1,62	7	4	0,0698	28,4
АОП2-91-8	40	(11+11) 3	1,40	7	4	0,057	29,9
АОС2-91-8	42	(11+11) 3	1,40	7	4	0,0565	30,5
АК2-91-8	40	(15+15) 2	1,50	7	4	0,086	26,6
А2-92-8	55	(11+11) 3	1,40	7	4	0,057	29,2
АО2-92-8	55	(9+9) 3	1,56	7	4	0,0453	35,6
АОП2-92-8	55	(8+8) 4	1,45	7	4	0,035	37,2
АОС2-92-8	57,8	(8+8) 4	1,45	7	4	0,0348	37,9
АК2-92-8	55	(10+10) 3	1,45	7	4	0,051	31,4

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	a	r, Ом	M, кг
АО2-91-10	30	(8+8) 4	1,45	5	2	0,099	25,9
АОП2-91-10	30	(7+7) 4	1,56	5	2	0,0657	23,7
АОС2-91-10	31,6	(7+7) 4	1,56	5	2	0,065	25,8
АО2-92-10	40	(6+6) 5	1,50	5	2	0,0626	29,4
АОП2-92-10	40	(14+14) 2	1,56	5	5	0,0472	26,7
АОС2-92-10	37,9	(14+14) 2	1,56	5	5	0,0466	27,9

* Модернизированные (с уменьшенной длиной сердечника).

** Данные только для двигателей с двухслойной концентрической обмоткой. Для остальных двигателей А2, АО2 8—9-го габаритов при $2p=4$—10 данные n, d, a при двухслойной концентрической обмотке те же, что и при обычной двухслойной обмотке.

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.

2. Двигатели А2, АО2, АК2 8—9-го габаритов при $2p=4$—10 выполняются также с двухслойной концентрической обмоткой. Катушечная группа такой обмотки состоит из q охватывающих друг друга катушек (см. рис. 44). Для выполнения соединений катушечных групп этой обмотки можно использовать торцовые схемы обычных двухслойных обмоток при соответствующем числе полюсов и параллельных ветвей.

Шаги двухслойных концентрических обмоток при $2p=4$: 1—14, 2—13; 3—12; 4—11 (для 8-го габарита); 1—17, 2—16, 3—15, 4—14, 5—13 (для 9-го габарита); при $2p=6$: 1—14; 2—13; 3—12; 4—11; при $2p=8$: 1—10, 2—9, 3—8; при $2p=10$: 1—7, 2—6.

53. ПРИМЕРЫ ПЕРЕСЧЕТА ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ НА ДРУГОЕ НАПРЯЖЕНИЕ (К ТАБЛ. 87)

1. Двигатель АО2-22-6 на номинальное напряжение 220/380 В пересчитать на напряжения 127/220 и 500 В (соедиинение фаз Y). Обмоточные данные двигателя: $n=65$, $d=0{,}8$ мм.

По рис. 85 и 86 находим: $n=38$ и $d=1{,}04$ мм (для 127/220 В); $n=85$ и $d=0{,}69$ мм (для 500 В; фазное напряжение 289 В). Число параллельных ветвей и схема обмотки не измеияются.

2. Двигатель А2-62-2 на номинальное напряжеиие 220/380 В пересчитать на напряжение 500 В. Обмоточные данные двигателя: $n=(13+13)2$; $d=1{,}5$ мм, $a=2$.

По рис. 85 при числе эффективных проводников в пазу $N_{ст}=13+13=26$ находим $N_{нов}=34$.

По рис. 86 находим $d=1{,}3$ мм при сохранеиии числа параллельных проводников и параллельных ветвей.

Для двигателей 7—9-го габаритов с небольшим (меньше 20—25) числом эффективных проводников в пазу пересчетом обмоточных данных пользоваться не рекомендуется, так как в этом случае округление числа витков в основном варианте (на напряжение 220/380 В) и округление при пересчете могут внести существенную погрешность.

54. МНОГОСКОРОСТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ АО2 1—9-го ГАБАРИТОВ *

Таблица 88. Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 4/2 полюса $U=380$ В

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг
АОЛ2-11 АОЛ2-12	0,45/0,60 0,6/0,85	143+143 110+110	0,35 0,41	7 7	81,0 50,4	1,2 1,34
АОЛ2-21 АОЛ2-22	0,7/0,9 1,0/1,4	100+100 79+79	0,49 0,57	7 7	33,2 21,7	1,79 2,15
АОЛ2-31 АОА2-32	1,8/2,3 2,3/2,9	46+46 35+35	0,72 0,83	10 10	12,3 7,8	3,1 3,5
АО2-11 АО2-12	0,45/0,60 0,60/0,85	125+125 110+110	0,38 0,41	7 7	57,4 46,3	1,16 1,26
АО2-21 АО2-22	1,0/1,3 1,4/1,9	88+88 67+67	0,53 0,62	7 7	25,1 15,5	1,87 2,28
АО2-31 АО2-32	1,8/2,3 2,3/2,9	43+43 35+35	0,74 0,83	10 10	10,5 7,55	2,99 3,99
АО2-41 АО2-42	3,3/4,1 4,7/5,5	33+33 25+25	1,04 1,20	10 10	4,96 3,17	5,58 6,35
АО2-51 АО2-52	6,1/7,3 8,3/10,2	22+22 (18+18) 2	1,50 1,16	10 10	1,87 1,41	9,0 10,8
АО2-61 АО2-62	8,5/10,0 11,5/14,5	(18+18) 2 (15+15) 2	1,25 1,40	10 10	1,22 0,87	11,2 12,6
АО2-71 АО2-72	15,5/19,5 19,0/24,5	(12+12) 3 (10+10) 3	1,40 1,56	10 10	0,55 0,40	17,4 19,4
АО2-81 АО2-82	31,0/38,0 38,0/45,0	(7+7) 5 (6+6) 6	1,50 1,45	13 13	0,23 0,20	27,6 30,4

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Число параллельных ветвей — одна.

* Соединение фаз переключаемых обмоток на 4/2, 8/4, 6/12 полюсов — Δ/YY, непереключаемых обмоток на 6 и 4 полюса — Y. Сопротивление и числа параллельных ветвей переключаемых обмоток приведено для большего числа полюсов, для меньшего числа полюсов сопротивление будет в 4 раза меньше, а число параллельных ветвей — в 2 раза больше.

Таблица 89. **Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 6/4 полюса при U=380 В**

Обозначение	P, кВт	Обмотка на 6 полюсов					Обмотка на 4 полюса				
		n	d, мм	y	r, Ом	M, кг	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг
АОЛ2-31*	0,9	67	0,64	7; 5	9,15	1,45	55	0,62	11; 9; 7	9,35	1,31
АОЛЛ2-32*	1,2	52	0,72	7; 5	6,35	1,61	45	0,69	11; 9; 7	6,90	1,47
АОЛ2-31**	0,75/1,1	67	0,59	7; 5	10,8	1,24	52	0,69	11; 9; 7	7,10	1,52
АОЛ2-32**	1,1/1,6	52	0,69	7; 5	6,90	1,49	41	0,77	11; 9; 7	5,00	1,67
АО2-31*	0,9	67	0,64	7; 5	9,15	1,46	55	0,62	11; 9; 7	9,12	1,28
АО2-32*	1,2	52	0,72	7; 5	6,35	1,61	45	0,69	11; 9; 7	6,73	1,45
АО2-41*	1,8	47	0,96	7; 5	3,28	2,86	41	0,83	11; 9; 7	4,49	2,06
АО2-42*	2,4	35	1,12	7; 5	2,07	3,15	31	0,90	11; 9; 7	3,28	2,07
АО2-51*	3,7	33	1,35	7; 5	1,40	4,40	25	1,25	11; 9; 7	1,44	3,38
АО2-52*	4,7	27	1,50	7; 5	1,03	4,98	20	1,40	11; 9; 7	1,02	3,73
АО2-31**	0,75/1,1	67	0,59	7; 5	10,80	1,24	52	0,69	11; 9; 7	6,95	1,50
АО2-32**	1,1/1,6	52	0,69	7; 5	6,90	1,49	41	0,77	11; 9; 7	4,92	1,64
АО2-41**	1,6/2,3	49	0,86	7; 5	4,26	2,25	37	0,96	11; 9; 7	3,03	2,48
АО2-42**	2,1/3,0	38	0,96	7; 5	3,07	2,51	29	1,12	11; 9; 7	1,97	3,01
АО2-51**	3,1/4,7	35	1,20	7; 5	1,87	3,73	23	1,45	11; 9; 7	0,99	4,17
АО2-52**	4,5/6,7	26	1,40	7; 5	1,14	4,18	19	1,62	11; 9; 7	0,724	4,73

* Постоянная мощность.
** Постоянный момент.

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Число параллельных ветвей — одна.

Таблица 90. **Обмоточные данные двухскоростных двигателей на 8/4 полюсов при $U=380$ В**

Обозначение	P, кВт	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг
АО2-41-8/4	1,6/2,5	54+54	0,80	5	10,70	4,23
АО2-42-8/4	2,3/3,9	40+40	0,93	5	6,82	4,90
АО2-51-8/4	3,0/4,8	36+36	1,12	5	4,24	6,50
АО2-52-8/4	4,1/6,6	27+27	1,30	5	2,87	7,85
АО2-61-8/4	5,5/8,5	20+20	1,45	7	2,30	9,80
АО2-62-8/4	7,0/10,5	15+15	1,62	7	1,60	10,40
АО2-71-8/4	10,0/14,5	(14+14)2	1,30	7	1,19	12,60
АО2-72-8/4	13,5/19,5	(12+12)2	1,50	7	0,86	16,00
АО2-81-8/4	19,0/28,0	(8+8)3	1,50	10	0,54	22,50
АО2-82-8/4	24,0/34,0	(6+6)4	1,50	10	0,36	26,40

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Число параллельных ветвей — одна.

Таблица 91. Обмоточные данные трехскоростных двигателей на 6/4/2 полюса при $U=380$ В

Обозначение	Обмотка на 6 полюсов						Обмотка на 4/2 полюса					
	P, кВт	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг
АОЛ2-31	0,75	74	0,53	7; 5	14,70	1,10	0,9/1,2	56+56	0,47	10	35,3	1,62
АОЛ2-32	1,1	52	0,67	7; 5	7,35	1,41	1,3/1,7	39+39	0,55	10	19,8	1,72
АО2-31	0,75	68	0,57	7; 5	11,75	1,18	0,9/1,2	50+50	0,49	10	27,9	1,52
АО2-32	1,1	52	0,67	7; 5	7,35	1,41	1,3/1,7	39+39	0,55	10	19,2	1,56
АО2-41	1,7	49	0,86	7; 5	4,26	2,25	2,0/2,4	35+35	0,69	10	11,9	2,61
АО2-42	2,1	38	0,96	7; 5	3,07	2,51	2,4/2,9	30+30	0,74	10	10,0	2,90
АО2-51	3,0	35	1,20	7; 5	1,88	3,73	3,3/4,0	28+28	0,93	9	6,26	4,46
АО2-52	4,0	28	1,35	7; 5	1,33	4,18	4,5/5,7	22+22	1,04	9	4,3	4,80

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Число параллельных ветвей — одна.

Таблица 92. **Обмоточные данные трехскоростных двигателей на 8/6/4 полюса при $U = 380$ В**

Обозначение	Обмотка на 8/4 полюса						Обмотка на 6 полюсов					
	P, кВт	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	P, кВт	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг
АО2-61	3,8/6	20+20	1,08	1	4,16	5,48	4,8	17+17	0,96	2	1,12	3,71
АО2-62	4,8/7,5	17+17	1,20	1	3,60	6,53	5,7	15+15	1,04	2	0,97	4,34
АО2-71	7,1/10,5	15+15	1,40	1	2,13	7,9	8,3	(7+7)2	1,16	1	0,717	4,90
АО2-72	9,2/13,5	12+12	1,56	1	1,54	8,4	10,7	(5+5)2	1,30	1	0,456	4,80
АО2-81	13,0/19,0	(8+8)2	1,35	1	0,983	12,3	15,0	(4+4)2	1,62	1	0,340	8,85
АО2-82	17,0/25,0	(7+7)2	1,45	1	0,855	12,4	20,0	(3+3)4	1,30	1	0,230	8,60
АО2-91	24,0/31,9	(6+6)3	1,45	1	0,532	19,6	26,0	(8+8)2	1,25	3	0,159	12,9
АО2-92	32,7/48,0	(4+4)4	1,56	1	0,269	23,0	36,2	(6+6)2	1,45	3	0,104	15,1

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Шаги обмоток для 6—7-го габаритов: 1—8, для 8—9-го: 1—11.

Таблица 93. **Обмоточные данные четырехскоростных двигателей на 12/8/6/4 полюса при U=380 В**

Обозначение	Обмотка на 12/6 полюсов						Обмотка на 8/4 полюса					
	P, кВт	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг	P кВт	n	d, мм	y	r, Ом	M, кг
АО2-61	1,6/3,2	31+31	0,80	5	10,7	4,15	3,2/5,0	22+22	0,90	7	6,68	4,16
АО2-62	2,0/4,6	24+24	0,90	5	7,40	4,92	4,0/6,5	17+17	1,04	7	4,08	4,64
АО2-71	3,3/5,8	23+23	1,00	5	5,55	5,30	5,8/8,6	16+16	1,20	7	3,08	6,00
АО2-72	4,2/8,5	17+17	1,20	5	3,24	6,20	7,5/12,0	13+13	1,35	7	2,21	6,75
АО2-81	5,6/12,0	13+13	1,45	7	2,44	9,85	9,0/15,0	9+9	1,50	10	1,79	8,35
АО2-82	8,0/15,0	10+10	1,62	7	1,75	11,0	13,0/20,0	(7+7)2	1,25	10	1,15	10,5
АО2-91	13,2/22,6	(8+8)2	1,40	7	0,996	14,0	19,9/27,7	(6+6)2	1,62	10	0,641	16,4
АО2-92	18,9/32,4	(6+6)2	1,62	7	0,670	17,2	26,6/39,1	(5+5)3	1,40	10	0,560	17,9

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Число параллельных ветвей — одна.

55. ДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ 4А С ВЫСОТОЙ ОСИ ВРАЩЕНИЯ 50—250 мм

Таблица 94. **Обмоточные данные двигателей при высоте оси вращения 50—63 мм**

Обозначение	P, Вт	U = 127/220В				U = 220/380В				y	$l_{ср}$ мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг		
4АА50А2	90	260	0,35	28,2	0,43	450	0,27	82,3	0,44	7; 5	294
4АА50В2	120	228	0,41	19,1	0,54	394	0,31	57,8	0,53	7; 5	310
4АА50А4	60	367	0,33	35,2	0,42	635	0,27	91,0	0,48	3	230
4АА50В4	90	289	0,38	22,7	0,48	500	0,31	59,1	0,55	3	250

4АА56А2У3, 4ААВ56А2У3, 4АА56А2ПУ3	180	93	0,41	16,0	0,44	166	0,29	54,9	0,40	11; 9	306
4АА56В2У3, 4ААВ56В2У3, 4АА56В2ПУ3	250	82	0,44	12,9	0,47	143	0,33	38,6	0,46	11; 9	324
4АА56А4У3, 4ААВ56А4У3, 4АА56А4ПУ3	120	133	0,41	18,5	0,51	254	0,29	70,5	0,50	7; 5	257
4АА56В4У3, 4ААВ56В4У3, 4АА56В4ПУ3	180	117	0,44	15,0	0,57	203	0,33	46,5	0,55	7; 5	275
4АА63А2У3, 4ААВ63А2У3, 4АА63А2ПУ3	370	73	0,51	8,41	0,58	126	0,38	26,2	0,55	11; 9	330
4АА63В2У3, 4ААВ63В2У3, 4АА63В2ПУ3	550	58	0,57	5,62	0,60	101	0,44	16,7	0,62	11; 9	350
4АА63А4У3, 4ААВ63А4У3, 4АА63А4ПУ3	250	98	0,49	10,1	0,59	169	0,38	29,0	0,61	7; 5	272
4АА63В4У3, 4ААВ63В4У3, 4АА63В4ПУ3	370	79	0,53	7,4	0,59	137	0,41	21,4	0,61	7; 5	289
4АА63А6У3, 4ААВ63А6У3, 4АА63А6ПУ3	180	98	0,44	16,8	0,64	170	0,33	51,9	0,62	7; 5	244
4АА63В6У3, 4ААВ63В6У3, 4АА63В6ПУ3	250	76	0,53	10,5	0,83	131	0,41	30,0	0,85	7; 5	283

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВМ, класс нагревостойкости — *E*.
2. Число параллельных ветвей — одна.
3. Односторонняя толщина пазовой изоляции 0,2 мм.

Таблица 95. Обмоточные данные двигателей при высоте оси вращения 71—100 мм

Обозначение	P, кВт	U=220/380 В				U=380/660 В				U=500 В		y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм		
4A71A2 4A71B2	0,75 1,10	89 73	0,53 0,59	12,0 8,35	0,91 0,96	154 126	0,41 0,44	35,0 25,9	0,93 0,92	117 96	0,47 0,51	11; 9 11; 9	420 438
4A71A4 4A71B4	0,55 0,75	113 95	0,53 0,57	12,2 9,45	0,92 0,94	192 164	0,41 0,44	35,0 27,3	0,93 0,97	149 125	0,47 0,49	7;5 7;5	336 354
4A71A6 4A71B6	0,37 0,55	114 85	0,47 0,53	21,2 14,45	0,97 1,08	— 147	— 0,41	— 41,8	— 1,11	150 112	0,38 0,47	7;5 7;5	300 350
4A71B8	0,25	148	0,41	35,6	0,95	—	—	—	—	195	0,35	5; 3; 5*	296
4A80A2 4A80B2	1,50 2,20	61 48	0,8 0,93	4,1 2,6	1,59 1,82	106 83	0,59 0,69	13,1 8,14	1,51 1,74	80 63	0,69 0,8	11; 9 11; 9	474 514
4A80A4 4A80B4	1,10 1,50	60 49	0,67 0,74	7,15 5,3	1,36 1,49	102 85	0,51 0,55	21,0 16,5	1,35 1,44	79 65	0,59 0,64	11; 9; 7 11; 9; 7	392 432

4A80A6 4A80B6	0,75 1,10	82 58	0,59 0,72	10,8 6,25	1,24 1,58	142 101	0,44 0,53	33,6 20,0	1,19 1,51	108 76	0,51 0,62	7; 5 7; 5	336 410
4A80A8 4A80B8	0,37 0,55	121 91	0,49 0,57	21,40 13,40	1,16 1,33	200 153	0,38 0,44	58,8 37,7	1,16 1,34	159 120	0,41 0,49	5; 3; 5* 5; 3; 5*	310 350
4A90*L*2 4A90*L*4	3,00 2,20	44 40	1,08 0,90	1,96 3,10	2,51 1,92	76 69	0,80 0,67	6,2 9,7	2,39 1,84	58 53	0,96 0,77	11; 9 11; 9; 7	572 462
4A90*L*6	1,50	51	0,83	4,37	1,95	88	0,62	13,5	1,89	67	0,72	7;5	432
4A90*L*A8 4A90*L*B8	0,75 1,10	74 58	0,67 0,77	8,30 5,75	1,58 1,91	128 101	0,51 0,57	24,9 18,3	1,60 1,83	97 76	0,59 0,67	5; 3; 5* 5; 3; 5*	370 430
4A100S2 4A100*L*2	4,00 5,50	38×2 30×2	0,96 1,08	1,19 0,81	3,78 4,12	66 52	1,00 1,16	3,81 2,4	3,58 4,15	50 39×2	1,16 0,93	11; 9 11; 9	634 694
4A100S4 4A100*L*4	3,00 4,00	35 28	1,12 1,30	1,90 1,28	2,81 3,39	60 48	0,86 0,96	5,53 3,98	2,85 3,18	46 37	1,00 1,12	11; 9; 7 11; 9; 7	500 560
4A100*L*6 4A100*L*8	2,20 1,50	43 56	1,04 0,93	2,55 3,85	2,81 2,71	74 97	0,80 0,69	7,40 12,1	2,87 2,60	57 74	0,90 0,80	7;5 5; 3; 5*	470 436

* 5; 3 — шаги обмотки для катушечной полугруппы из двух катушек, 5 — шаг обмотки для катушечной группы из одной катушки.

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ-939.

2. Число параллельных ветвей — одна.

3. Одностороняя толщина пазовой изоляции 0,2 мм при высоте оси вращения 71, 80 мм и 0,25 мм при высоте оси вращения 90, 100 мм.

4. Соединение фаз при напряжении 500 в — Y.

Таблица 96. **Обмоточные данные двигателей при высоте оси вращения 112—132 мм**

Обозначение	P, кВт	U=127/220 В					U=220/330 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4А112М2	7,5	30×2	1,16	2	0,174	4,79	26×2	1,25	1	0,521	4,81	11; 9	690
4А112М4	5,5	14×2	1,30	1	0,323	3,49	25	1,40	1	0,990	3,61	11; 9; 7	572
4А112МА6	3,0	16×2	1,04	1	0,687	3,05	28	1,12	1	2,06	3,09	11; 9; 7	454
4А112МВ6	4,0	13×2	1,16	1	0,498	3,42	23	1,25	1	1,51	3,51	11; 9; 7	504
4А112МА8	2,2	23×2	0,96	1	0,945	3,04	39	1,04	1	2,73	3,03	7; 5	416
4А112МВ8	3,0	18×2	1,08	1	0,668	3,45	31	1,20	1	1,87	3,68	7; 5	476
4А132М2	11,0	24×2	1,35	2	0,116	5,77	21×3	1,20	1	0,342	6,06	11; 9	772
4А132S4	7,5	13×3	1,35	1	0,193	5,44	22×2	1,25	1	0,571	5,27	11; 9; 7	596
4А132М4	11,0	19×2	1,35	2	0,121	6,09	32×2	1,04	2	0,346	6,14	11; 9; 7	686
4А132S6	5,5	12×2	1,35	1	0,348	4,35	20×2	1,04	1	0,976	4,33	11; 9; 7	516
4А132М6	7,5	9×3	1,25	1	0,239	4,94	15×2	1,20	1	0,649	5,10	11; 9; 7	606
4А132S8	4,0	16×2	1,25	1	0,440	4,04	27	1,40	1	1,18	4,28	7; 5	470
4А132М8	5,5	12×3	1,16	1	0,303	4,67	21×2	1,08	1	0,919	4,72	7; 5	560

Обозначение	P, кВт	U=380/660 В					U=500 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4А112М2 4А112М4	7,5 5,5	45 43	1,36 1,04	1 1	1,55 3,10	4,84 3,44	34×2 33	1,08 1,20	1 1	0,912 1,79	4,71 3,53	11; 9 11; 9; 7	690 572
4А112МА6 4А112МВ6	3,0 4,0	48 40	0,86 0,93	1 1	6,02 4,77	3,12 3,37	37 30	0,96 1,08	1 1	3,73 2,65	2,99 3,42	11; 9; 7 11; 9; 7	452 504
4А112МА8 4А112МВ8	2,2 3,0	67 53	0,80 0,90	1 1	7,91 5,67	3,08 3,52	51 41	0,93 1,04	1 1	4,46 3,28	3,16 3,65	7; 5 7; 5	416 476
4А132М2 4А132S4 4А132М4	11,0 7,5 11,0	36×2 38 56	1,12 1,35 1,12	1 1 2	1,00 1,70 1,045	5,98 5,3 6,21	28×2 29×2 42	1,25 1,08 1,30	1 1 2	0,63 1,01 0,583	5,79 5,2 6,26	11; 9 11; 9; 7 11; 9; 7	772 596 686
4А132S6 4А132М6	5,5 7,5	35 26	1,12 1,30	1 1	2,93 1,906	4,38 5,15	26 20×2	1,30 1,04	1 1	1,624 1,15	4,38 5,07	11; 9; 7 11; 9; 7	516 606
4А132S8 4А132М8	4,0 5,5	47 36	1,04 1,20	1 1	3,71 2,55	4,12 5,02	36 28	1,20 1,35	1 1	2,14 1,563	4,22 4,89	7; 5 7; 5	470 560

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ. 2. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

Таблица 97. **Обмоточные данные двигателей при высоте оси вращения 160—250 мм**

Обозначение	P, кВт	U=220/380 В					U=380/660 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4A160S2 4A160M2	15 18,5	(16+16)2 (14+14)2	1,20 1,30	2 2	0,288 0,226	9,0 9,7	28+28 24+24	1,30 1,40	2 2	0,86 0,67	9,2 9,6	12 12	760 800
4A160S4 4A160M4	15 18,5	27×2 22×2	1,25 1,40	2 2	0,270 0,196	9,9 11,3	47 38	1,35 1,50	2 2	0,81 0,692	10,0 11,2	11; 9 11; 9	690 770
4A160S6 4A160M6	11 15	46 34	1,16 1,35	3 3	0,520 0,330	7,9 9,2	27×2 20×2	1,08 1,25	1 1	1,59 1,02	8,1 9,3	11; 9; 7 11; 9; 7	670 780
4A160S8 4A160M8	7,5 11,0	41×2 30×2	0,93 1,08	2 2	0,642 0,412	7,2 8,4	71 52	1,00 1,16	2 2	1,92 1,24	7,2 8,5	7; 5 7; 5	595 705
4AH160S2 4AH160M2	22,0 30,0	(14+14)2 (11+11)2	1,30 1,50	2 2	0,216 0,133	9,0 10,6	24+24 19+19	1,40 1,62	2 2	0,631 0,416	9,1 10,7	12 12	760 840
4AH160S4 4AH160M4	18,5 22,0	26×2 21×2	1,25 1,45	2 2	0,263 0,179	9,5 11,6	45 36	1,35 1,56	2 2	0,799 0,532	9,6 11,5	11; 9 11; 9	690 770

4A180S2 4A180M2	22 30	(14+14)3 (10+10)3	1,25 1,50	2 2	0,150 0,087	12,5 14,8	(24+24)2 (18+18)2	1,16 1,35	2 2	0,449 0,230	12,3 14,4	11 12	738 860
4A180S4 4A180M4	22 30	23×3* 17×4*	1,25 1,25	2 2	0,161 0,099	13,2 14,5	40×2* 29×2*	1,16 1,35	2 2	0,490 0,288	13,2 14,4	11; 9; 7 11; 9; 7	720 800
4A180M6 4A180M8	18.5 15,0	(10+10)2 23+23	1,35 1,25	2 4	0,240 0,320	12,1 11,7	18+17 20+20	1,45 1,35	2 2	0,738 0,950	12,2 11,9	10 7	650 634
4AH180S2 4AH180M2	37,0 45,0	(10+10)3 (9+9)3	1,5 1,56	2 2	0,080 0,070	14,0 14,4	(18+18)2 (16+16)2	1,35 1,45	2 2	0,273 0,223	13,6 14,5	11 11	810 860
4AH180S4 4AH180M4	30,0 37,0	21+21 (17+17)2	1,62 1,25	4 4	0,139 0,100	14,3 15,2	(18+18)2 30+29	1,20 1,35	2 4	0,434 0,300	13,5 15,4	10 10	762 842
4AH180S6 4AH180M6	18,5 22,0	16+16 (13+13)2	1,50 1,16	3 3	0,274 0,200	11,6 12,5	19+18 15+15	1,40 1,56	2 2	0,812 0,588	11,6 13,0	10 10	630 700
4AH180S8 4AH180M8	15,0 18,5	23+23 19+19	1,25 1,40	4 4	0,320 0,240	11,7 14,0	20+20 16+16	1,35 1,50	2 2	0,950 0,710	11,9 13,5	7 7	634 734

Продолжение табл. 97

Обозначение	P, кВт	U=220/380 В					U=380/660 В					u	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4А200M2	37	(10+10)4	1,50	2	0,067	19,7	(17+18)3	1,50	2	0,203	19,5	11	860
4А200L2	45	(8+9)5	1,45	2	0,051	21,0	(15+15)3	1,40	2	0,160	20,7	11	920
4А200M4	37	(9+8)4	1,35	2	0,090	17,6	(14+15)3	1,20	2	0,259	18,1	10	850
4А200L4	45	(7+7)5	1,35	2	0,065	20,5	(12+12)3	1,30	2	0,202	19,5	10	940
4А200M6	22	(14+14)2	1,25	3	0,193	15,9	(16+16)2	1,16	2	0,575	15,6	10	710
4А200L6	30	(11+11)2	1,40	3	0,129	16,8	19+19	1,50	3	0,389	16,6	10	760
4А200M8	18,5	(11+11)2	1,40	2	0,234	13,5	(19+19)2	1,04	2	0,750	13,1	7	625
4А200L8	22	19+19	1,50	4	0,195	14,5	33+33	1,12	4	0,608	14,1	7	675
4АН200M2	55	(8+8)6	1,35	2	0,046	20,6	(13+14)4	1,25	2	0,136	19,8	11	920
4АН200L2	75	(6+7)6	1,50	2	0,033	22,4	(11+11)5	1,25	2	0,094	22,0	11	1000
4АН200M4	45	(8+8)4	1,40	2	0,079	18,2	(14+13)3	1,25	2	0,223	18,3	10	850
4АН200L4	55	(6+7)4	1,56	2	0,057	20,4	(11+11)4	1,20	2	0,163	20,3	10	940
4АН200M6	30	(12+12)2	1,35	3	0,141	15,9	20+21	1,45	3	0,420	15,6	10	710
4АН200L6	37	(9+9)3	1,25	3	0,095	17,8	(15+16)2	1,16	3	0,285	17,5	10	820
4АН200M8	22	(10+10)3	1,20	2	0,210	14,9	(17+17)2	1,12	2	0,623	14,7	7	675
4АН200L8	30	(14+14)2	1,25	4	0,125	18,6	24+24	1,35	4	0,370	18,5	7	825

4A225M2 4A225M4	55 55	(7+8)6 (13+13)3	1,45 1,40	2 4	0,042 0,050	24,8 25,8	(13+13)3 (23+22)2	1,56 1,30	2 4	0,124 0,146	24,7 25,1	11 10	1020 970
4A225M6 4A225M8	37 30	(10+10)3 (8+8)3	1,30 1,50	3 2	0,098 0,112	21,3 19,4	(12+12)3 27+27	1,20 1,40	2 4	0,310 0,336	21,6 19,3	10 7	815 715
4AH225M2 4AH225M4	90 75	(6+6)7 (6+6)6	1,50 1,45	2 2	0,0265 0,043	24,7 25,5	(10+10)5 (10+10)3	1,35 1,56	2 2	0,037 0,121	23,8 24,1	11 10	1020 970
4AH225M6 4AH225M8	45 37	(10+9)3 (14+14)2	1,35 1,35	3 4	0,087 0,100	21,8 20,6	(11+11)2 24+24	1,56 1,50	2 4	0,251 0,286	22,3 21,7	10 7	815 785
4A250S2 4A250M2	75 90	(4+5)8 (4+4)9	1,56 1,56	2 2	0,0233 0,019	33,0 34,8	(8+8)6 (7+7)6	1,35 1,45	2 2	0,074 0,059	33,0 35,0	14 14	1100 1170
4A250S4 4A250M4	75 90	(9+9)4 (8+8)5	1,56 1,50	4 4	0,028 0,0233	39,6 43,8	(16+16)2 (14+14)3	1,62 1,40	4 4	0,092 0,077	38,0 40,0	12 12	1060 1140
4A250S6 4A250M6	45 55	(9+9)4 (7+8)4	1,30 1,40	3 3	0,069 0,052	26,6 27,0	(15+16)2 (13+13)3	1,40 1,25	3 3	0,205 0,150	26,6 27,9	10 10	855 895

Продолжение табл. 97

Обозначение	P, кВт	U=220/380 В					U=380/660 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4A250S8	37	(15+15)2	1,40	4	0,098	22,7	25+25	1,56	4	0,264	23,5	7	755
4A250M8	45	(12+12)2	1,62	4	0,065	26,8	(21+21)2	1,20	4	0,207	25,8	7	835
4AH250S2	110	(4+4)9	1,56	2	0,018	32,5	(7+7)6	1,45	2	0,055	32,8	14	1090
4AH250M2	132	—	—	—	—	—	(6+6)6	1,56	2	0,043	34,4	14	1150
4AH250S4	90	(9+9)4	1,56	4	0,027	38,1	(16+16)2	1,62	4	0,088	36,5	12	1020
4AH250M4**	110	(8+8)5	1,50 и 1,45	4	0,022	39,5	(14+14)3	1,40	4	0,072	37,2	12	1060
4AH250S6	55	(8+9)4	1,35	3	0,061	27,1	(14+15)3	1,16	3	0,186	25,6	10	855
4AH250M6**	75	(6+7)5	1,35 и 1,40	3	0,041	30,4	(11+11)3	1,35	3	0,119	29,9	10	975
4AH250S8	45	(12+13)3	1,25	4	0,072	23,8	(21+22)2	1,16	4	0,216	23,5	7	795
4AH250M8	55	(10+11)3	1,40	4	0,053	27,6	(18+18)2	1,30	4	0,159	27,2	7	875

* Обмотка одно-двухслойная.

** Катушки выполнять для двигателя 4АН250М4 из трех проводов $d=1{,}5$ мм и двух проводов $d=1{,}45$ мм и для двигателя 4АН250М6 из трех проводов $d=1{,}35$ мм и двух проводов $d=1{,}40$ мм.

Примечания: 1. Марка провода ПЭТ-155, класс нагревостойкости изоляции — *F*.

2. Односторонняя толщина пазовой изоляции 0,4 мм.

3. Толщина клина 1 мм при высоте оси вращении 160 мм и 2,5 мм при высоте оси вращеиия 180—250 мм.

4. Неравновитковые катушки в двухслойной обмотке при нечетном шаге чередовать через одну, при четном — попарно. Например, для двигателя 4А200М2 при шаге $y=11$ чередование следует выполнять: 17, 18, 17..., а для двигателя 4А200М4 при шаге $y=10$: 9, 9, 8, 8, 9, 9 ...

56. РАЗМЕРЫ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРОВ

Таблица 98. Двигатели единой серии А, АО 0—9-го габаритов

Габарит	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1 мм, при номере длины 0	1	2	3	4	δ, мм	z_1	F, мм²
0	2,4	84	51,5	—	38	52	—	—	0,35	18	57,3
1	2,4	102	60	—	46	62	—	—	0,25	24	70,8
2	2,4	120	72	—	56	76	—	—	0,25	24	79,2
3	2	145	82	—	64	100	—	—	0,35	24	100
	4	145	89	—	64	100	—	—	0,25	24	112
	6	145	89	—	64	100	—	—	0,25	36	110
4	2	182	104	—	75	115	—	—	0,5	24	147
	4,6	182	112	—	75	115	—	—	0,3	36	126
5	2	245	140	—	90	140	—	—	0,6	24	267
	4,6	245	152	—	90	140	—	—	0,4	36	207
6	2	327	180	—	75	100	135	—	0,75	36	335
	4,6*	327	200	55	75	100	135	—	0,4	36	296
	8**	327	230	—	75	100	135	—	0,4	48	282
	6,8	327	230	—	75	100	135	—	0,4	54	247
7	2	368	205	—	100	135	185	—	0,85	36	416
	4	368	230	—	100	135	185	—	0,5	36	370
	8*	368	260	—	100	135	185	—	0,45	54	248
	8**	368	260	—	100	135	185	—	0,45	48	333
	6,8	368	260	—	100	135	185	—	0,45	54	291
8	2	423	240	—	130	180	250	—	1,4	36	519
	4	423	265	—	130	180	250	—	0,6	48	387
	6,8	423	300	—	130	180	250	—	0,55	72	271
9	2	493	285	—	160	220	250	320	2,0	48	577
	4	493	315	—	160	220	250	320	1,0	60	465
	6,8	493	350	—	160	220	250	320	0,6***	72	363

* Для двигателей А и АО.
** Для двигателей АК, а также для А и АО при $z_1=48$.
*** Для двигателей АП и АОП зазор равен 0,8 мм.

Таблица 99. **Двигатели единой серии А, АО 0—9-го габаритов (числа пазов роторов)**

Габарит	$2p$	z_1	z_2 для двигателей				
			А, АО	АС, АОС	АП, АОП	АОТ	АК
01	2; 4	18	15	—	—	—	—
1	2; 4	24	18	—	—	—	—
2	2; 4	24	18	—	—	—	—
3	2	24	20	20	—	—	—
	4	24	18	22	—	—	—
	6	36	26	—	—	—	—
4	2	24	20	20	—	—	—
	4	36	26	26	26	26	—
	6	36	26	42	42	42	—
5	2	24	20	20	—	—	—
	4	36	26	26	42	42	54
	6	36	44	42	42	42	54
6	2	36	28	—	—	—	—
	4	36	46	44	2×22	46	48
	6*	36	46	—	—	—	—
	6	54	—	58	2×34	58	60
	8	54	58	58	2×34	58	—
	8**	48	58	—	—	—	60
7	2	36	28	—	—	—	—
	4	36	44	44	2×22	44	48
	6	54	44	44	2×34	44	60
	8	54	58	58	2×34	58	—
	8**	48	44	—	—	—	60
8	2	36	28	—	—	—	—
	4	48	58	58	2×29	—	60
	6	72	58	58	2×46	—	54
	8	72	58	58	2×46	—	60
9	2	48	40	—	—	—	—
	4	60	50	50	2×35	—	72
	6	72	58	58	2×46	—	90
	8	72	58	58	2×46	—	84

* Для двигателей А и АО.

** Для двигателей АК, а также А и АО при $z_1=48$.

Примечание. Для двигателей АП и АОП 6—9-го габаритов пазы круглого (или овального) сечения чередуются с глубокими (бутылочными) пазами. Запись 2×22 означает, что ротор имеет 22 круглых и 22 глубоких паза.

Таблица 100. **Многоскоростные двигатели единой серии А, АО 3—9-го габаритов**

Габарит	2p	D_a, мм	D_l, мм	l_1, мм, при номере длины				δ, мм	z_1	z_2	F, мм²
				1	2	3	4				
3	4/2	145	89	64	100	—	—	0,25	24	22	112
4	4/2, 6/4, 8/4, 6/4/2	182	112	75	115	—	—	0,3	36	26	126
5	4/2, 6/4, 8/4	245	152	90	140	—	—	0,4	36	26	207
5	6/4/2	245	152	90	140	—	—	0,5	36	26	207
6	4/2	327	200	75	100	135	—	0,4	36	26	296
6	8/4, 8/6/4, 12/8/6/4	327	230	75	100	135	—	0,4	54	44	247
6	12/6	327	230	75	100	135	—	0,4	54	63	247
7	8/4, 12/6, 8/6/4, 12/8/6/4	368	260	100	135	185	—	0,45	54	63	291
8	8/4, 12/6, 8/6/4, 12/8/6/4	423	300	130	180	250	—	0,55	72	56	271
9	8/4, 12/6, 8/6/4, 12/8/6/4	493	350	160	220	250	320	0,6	72	56	363

Таблица 101. **Двигатели единой серии АО2, АОЛ2 1—3-го габаритов**

Габарит	2p	D_a, мм	D_i, мм	Двигатели АО2, АОС2, АОТ2: l, мм, при номере длины 1	Двигатели АО2, АОС2, АОТ2: l, мм, при номере длины 2	Двигатели АО2, АОС2, АОТ2: δ, мм	Двигатели АОЛС2, АОЛС2: l_1, мм, при номере длины 1	Двигатели АОЛС2, АОЛС2: l_1, мм, при номере длины 2	Двигатели АОЛС2, АОЛС2: δ, мм
1	2 4 6	133 133 133	73 80 80	52 52 65	65 65 75	0,35 0,25 0,25	54 54 67	67 67 77	0,4 0,3 0,3
2	2 4 6	153 153 153	86 94 98	63 70 70	90 95 95	0,4 0,25 0,25	65 70 70	92 97 97	0,45 0,3 0,3
3	2 4 6	180 180 180	106 112 122**	88* 88* 88*	115* 115* 115*	0,4 0,3 0,3	90 90 90	117 117 117	0,5 0,35 0,35

* Модернизированные двигатели АО2 3-го габарита имеют размер l_1: 80 мм при первой длине и 100 мм (115 мм для шестиполюсных) при второй длине.

** Для АОЛ2 и АОЛС2 118 мм.

Таблица 102. **Двигатели единой серии А2, АО2 4—9-го габаритов**

Габарит	2p	D_a, мм	D_l, мм	l_1, мм, для двигателей: А2 при номере длины 1	А2 при номере длины 2	АК2 при номере длины 1	АК2 при номере длины 2	АО2, АОС2, АОП2, АОТ2, АОК2 при номере длины 1	АО2, АОС2, АОП2, АОТ2, АОК2 при номере длины 2	δ, мм
4	2 4 6,8	208 208 208	123 133 144	— — —	— — —	— — —	— — —	110 110 110	148 148 148	0,6 0,35 0,35
5	2 4 6,8	243 243 243	140 158 173	— — —	— — —	— — —	— — —	135 135 135	170 170 190	0,7 0,45 0,4
6	2 4 6,8	291 291 291	153 180 206	110 120 120	135 150 165	— 120 120	— 150 165	— 135 150	150 165 190	0,7 0,55 0,4

Габарит	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, для двигателей A2 при номере длины 1	A2 при номере длины 2	AK2 при номере длины 1	AK2 при номере длины 2	AO2, AOC2, AOП2, AOT2, AOK2 при номере длины 1	AO2, AOC2, AOП2, AOT2, AOK2 при номере длины 2	δ, мм
7	2 4 6,8	343 343 343	183 214 245	115 115 130	150 165 165	115 115 130	150 165 165	130 165 165	165 205 205*	0,85 0,7 0,5
8	2 4 6,8 10	393 393 393 393	211 247 285 285	140 140 140 —	190 190 190 —	140 190 190 —	190 260 260 —	170 190 190 190	210 260* 260 245	1,0 0,9 0,6 0,5
9	2 4 6 8 10	458 458 458 458 458	247 290 334 334 334	170 170 170 170 —	215 215 235 240 —	170 170 170 170 —	215 215 240 265 —	215 240 240 240 270**	270 330 330 330 330**	1,2 1,0 0,7 0,7 0,6

* Для АОК2-72-8 и АОП2-82-4 — 245 мм.
** Для АОС2 и АОП2 — 215 мм при первой длине и 270 мм при второй.

Таблица 103. Двигатели единой серии А2, АО2 1—9-го габаритов (числа пазов)

Габарит	2p	z_1	z_2 для двигателей A2, AO2, AOЛ2	AOC2, AOЛC2	AOП2	AOT2	AK2 AOK2
1	2 4 6	24 24 36	20 30 26	20 30 26	— — —	— — —	— — —
2	2 4 6	24 24 36	20 30 26	20 30 26	— — —	— 30 26	— — —
3	2 4 6	24 36 36	20 26 —	20 26 —	— — —	— 26 —	— — —
4	2 4 6,8	24 36 36	20 26 33	20 46 46	— 26 26	— 26 —	— 24 27

Продолжение табл. 103

Габарит	2p	z_1	z_2 для двигателей: А2, АО2, АОЛ2	АОС2, АОЛС2	АОП2	АОТ2	АК2 АОК2
5	2	24	20	20	—	—	—
	4	36	—	46	26	—	48
	6	36	46	46	26	46	45
	8	36	46	46	26	46	48
6	2	36	28	—	—	—	—
	4	36	46	46	26	46	48
	6,8	54	64	64	42	64	36
7	2	36	28	—	—	—	—
	4	36	46	46	26	46	24
	6,8	54	64	64	42	64	36
8	2	36	28	—	—	—	—
	4	48	58	58	38	—	60
	6	72	82	82	58	—	81
	8	72	82	82	58	—	84
	10	60	74	74	46	—	—
9	2	48	40	—	—	—	—
	4	60	70	70	50	—	72
	6	72	86	86	58	—	81
	8	72	86	86	58	—	84
	10	60	74	74	46	—	—

Таблица 104. Многоскоростные двигатели единой серии АО2 1—9-го габаритов

Габарит	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при номере длины: 1	2	δ, мм	z_1	z_2
1*	4/2	133	80	54	67	0,3	24	22
1	4/2	133	80	52	65	0,25	24	22
2*	4/2	153	94	70	97	0,3	24	22
2	4/2	153	94	70	95	0,25	24	22

Габарит	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при номере длины		δ, мм	z_1	z_2
				1	2			
3* 3	4/2, 6/4, 6/4/2 4/2, 6/4, 6/4/2	180 180	112 112	90 88	117 115	0,35 0,3	36 36	26 26
4 4	4/2, 6/4, 6/4/2 8/4	208 208	133 144	110 110	148 148	0,35 0,35	36 36	26 33
5 5	4/2, 6/4, 6/4/2 8/4	243 243	158 173	135 135	170 190	0,45 0,4	36 36	26 26
6 6	4/2 8/4, 8/6/4, 12/8/6/4	291 291	180 206	135 150	165 190	0,55 0,4	36 54	26 44
7 7	4/2 8/4, 8/6/4, 12/8/6,4	343 343	214 245	165 165	205 205	0,7 0,5	36 54	44 44
8 8	4/2 8/4, 8/6/4, 12/8/6/4	393 393	247 285	190 190	245 260	0,9 0,6	48 72	58 58
9	8/6/4, 12/8/6/4	458	334	240	330	0,7	72	58

* Для АОЛ2.

Таблица 105. Двигатели единой серии 4А при высоте оси вращения 50—132 мм

Высота оси вращения, мм	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при размере			δ, мм	z_1	F_1', мм²	z_2
				S	M, A, MA, LA	L, B, LB, MB				
50	2 4	81 81	41 46	— —	42 42	50 50	0,25 0,25	12 12	72,1 94,0	9 15

Высота оси вращения, мм	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при размере S	M, A, MA, LA	L, B, LB, MB	δ, мм	z_1	F'_1, мм²	z_2
56	2 4	89 89	48 55	— —	47 47	56 56	0,25 0,25	24 24	31,4 43,8	18 18
63	2 4 6	100 100 100	54 61 65	— — —	56 56 56	65 65 75	0,3 0,25 0,25	24 24 36	39,1 47,0 37,0	18 18 28
71	2 4 6 8	116 116 116 116	65 70 76 76	— — — —	65 65 65 —	74 74 90 74	0,35 0,25 0,25 0,25	24 24 36 36	42,0 52,2 40,2 40,2	20 18 28 28
80	2 4 6 8	131 131 131 131	74 84 88 88	— — — —	78 78 78 78	98 98 115 98	0,35 0,25 0,25 0,25	24 36 36 36	64,3 44,0 48,0 48,0	20 28 28 28
90	2 4 6 8	149 149 149 149	84 95 100 100	— — — —	— — — 100	100 100 110 130	0,4 0,25 0,25 0,25	24 36 36 36	81,7 50,2 55,4 55,4	20 28 28 28
100	2 4 6 8	168 168 168 168	95 105 113 113	100 100 — —	— — — —	130 130 120 120	0,45 0,3 0,3 0,3	24 36 36 36	111,0 72,5 76,2 76,2	20 28 28 28
112	2 4 6 8	191 191 191 191	110 126 132 132	— — — —	125 125 100 100	— — 125 130	0,6 0,3 0,3 0,3	24 36 54 48	— — — —	22 34 51 44
132	2 4 6 8	225 225 225 225	130 145 158 158	— 115 115 115	130 160 160 160	— — — —	0,6 0,35 0,35 0,35	24 36 54 48	— — — —	19 34 51 44

Таблица 106. **Двигатели единой серии 4А и 4АН при высоте оси вращения 160—250 мм**

Высота оси вращения, мм	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при размере S	l_1, мм, при размере M	l_1, мм, при размере L	δ, мм	z_1	F'_1, мм²	z_2
160	2	272	155	110 (110)	130 (150)	—	0,8	36	148	28
	4	272	185	140 (130)	180 (170)	—	0,5	48	132	41
	6	272	197	145	200	—	0,45	54	98	50
	8	272	197	145	200	—	0,45	48	112	44
180	2	313	171	110 (145)	145 (170)	—	1,0	36	204	28
	4	313	211	145 (145)	185 (185)	—	0,6	48	162	38
	6	313	220	(130)	145 (170)	—	0,45	72	114	58
	8	313	220	(170)	170 (220)	—	0,45	72	114	58
200	2	349	194	—	130 (160)	160 (200)	0,9	36	270	28
	4	349	238	—	170 (170)	215 (215)	0,7	48	194	38
	6	349	250	—	160 (160)	185 (215)	0,5	72	134	58
	8	349	250	—	160 (185)	185 (260)	0,5	72	134	58
225	2	392	208	—	180 (180)	—	1,0	36	286	28
	4	392	264	—	200 (200)	—	0,85	48	232	38
	6	392	284	—	175 (175)	—	0,6	72	162	56
	8	392	284	—	175 (210)	—	0,6	72	162	56
250	2	437	232	200 (190)	230 (220)	—	1,2	48	265	40
	4	437	290	220 (200)	260 (220)	—	1,0	60	265	50
	6	437	317	180 (180)	200 (240)	—	0,7	72	187	56
	8	437	317	180 (200)	220 (240)	—	0,7	72	187	56

Примечание. В скобках указаны длины статоров для двигателей АН.

57. ДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ А, АО 3—9-го ГАБАРИТОВ С АЛЮМИНИЕВОЙ ОБМОТКОЙ

Таблица 107. **Обмоточные данные двигателей 3—5-го габаритов**

Обозначение	U=127/220В				U=220/380В				U=500В		y
	n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	
А31-2, АО31-2	42	1,0	2,79	0,53	73	0,77	8,18	0,54	96	0,67	11; 9
А32-2, АО32-2	28	1,25	1,38	0,64	49	0,93	4,37	0,61	64	0,83	11; 9
А31-4, АО31-4	63	0,9	4,13	0,52	110	0,67	13,0	0,5	145	0,59	7; 5
А32-4, АО32-4	44	1,04	2,58	0,58	76	0,83	7,0	0,62	100	0,72	7; 5
А31-6, АО31-6	72	0,86	6,87	0,72	125	0,67	19,6	0,76	164	0,57	7; 5
А32-6, АО32-6	47	1,08	3,45	0,90	81	0,83	10,0	0,92	107	0,69	7; 5
А41-2, АЛ41-2	27	1,62	0,851	1,10	47	1,3	2,3	1,24	62	1,12	11; 9
АО41-2	31×2	1,04	1,205	1,07	53	1,12	3,53	1,07	70	0,93	11; 9
А42-2, АЛ42-2	18×3	1,16	0,42	1,30	31	1,56	1,2	1,33	41	1,4	11; 9
АО42-2, АОЛ42-2	22×3	0,93	0,815	1,04	38	1,3	2,15	1,17	50	1,12	11; 9
А41-4, АЛ41-4, АО41-4, АОЛ41-4	31	1,45	1,45	1,20	53	1,08	4,47	1,16	70	0,93	11; 9; 7
А42-4, АЛ-42-4, АО42-4, АОЛ42-4	20×2	1,3	0,684	1,48	36	1,4	2,12	1,54	46	1,16	11; 9; 7
А41-6, АЛ41-6, АО41-6, АОЛ41-6	44	1,2	2,55	1,0	76	0,93	7,34	1,04	100	0,8	7; 5
А42-6, АЛ42-6, АО42-6, АОЛ42-6	29	1,56	1,2	1,33	50	1,16	3,74	1,29	66	1,0	7; 5

А51-2, АО51-2	(9+9) 4	1,35	0,239	2,40	(16+16) 2	1,4	0,792	2,29	(21+21) 2	1,2	9
А52-2	(6+6) 4	1,56	0,137	2,43	(10+10) 3	1,4	0,378	2,47	(13+13) 2	1,5	9
АО52-2	(8+8) 4	1,5	0,198	3,02	(13+13) 3	1,35	0,528	2,98	(17+17) 2	1,45	9
А51-4, АО51-4	18×3	1,5	0,337	2,88	32×2	1,35	1,11	2,77	42	1,68	11; 9; 7
А52-4, АО52-4	25×2*	1,4	0,236	2,73	22×2	1,5	0,722	2,75	29×2	1,3	11; 9; 7
А51-6, АО51-6	27×2	1,4	0,707	2,05	47	1,5	2,14	2,04	62	1,3	7; 5
А52-6, АО52-6	17×3	1,45	0,334	2,5	30×2	1,35	1,02	2,55	40	1,68	7; 5

* Число параллельных ветвей — две, для остальных — одна.

Примечания: 1. Мощность двигателей, размеры сердечников и средняя длина витка при переходе с медного провода на алюминиевый сохранены.

2. В конце обозначения типа двигателя с алюминиевой обмоткой статора добавляется буква А, например А31-2А.

3. Обмотка выполнена проводом ПЭВА-2 или ПЭЛРА-2, изоляция по классу нагревостойкости *E*.

4. При напряжении 500 В фазы соединяются Y.

Таблица 108. **Обмоточные данные двигателей 6—9-го габаритов**

Обозначение	U=220/380В					U=500В					y
	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	
А61-2	(9+9) 4	1,4	—	0,403	4,66	(12+12) 3	1,4	—	0,715	4,66	12
А62-2	(14+14) 2	1,56	2	0,267	4,75	(18+18) 2	1,4	2	0,427	4,95	12
А61-4	(14+14) 2	1,56	—	0,7	3,11	(18+18) 2	1,4	—	1,14	3,25	7
А62-4	(14+14) 2	1,88	—	0,374	3,48	(13+13) 2	1,62	—	0,658	3,38	7
А61-6	(18+18) 2	1,4	—	0,984	2,85	23+23	1,74	—	1,62	2,78	5
А62-6	27+27	1,68	—	0,561	3,35	(18+18) 2	1,4	—	1,08	3,14	5
А61-8*	(16+16) 2	1,35	—	1,35	3,38	21+21	1,68	—	2,3	3,41	6
А61-8**	(18+18) 2	1,3	—	1,49	3,21	(24+24) 2	1,12	—	2,67	3,21	5
А62-8*	(12+12) 2	1,56	—	0,84	3,72	(16+16) 2	1,35	—	1,49	3,74	6
А62-8**	27+27	1,5	2	0,925	5,52	35+35	1,3	2	1,60	3,44	5
А71-2	(12+12) 3	1,62	2	0,152	7,03	(16+16) 2	1,68	2	0,282	6,70	12
А72-2	(9+9) 3	1,88	2	0,0904	7,6	(12+12) 3	1,62	2	0,163	7,55	12
А71-4	(17+17) 2	1,56	2	0,269	4,77	(22+22) 2	1,35	2	0,465	4,65	7
А72-4	(13+13) 2	1,88	2	0,155	5,77	(17+17) 2	1,62	2	0,274	5,64	7
А71-6	23+23	1,68	3	0,36	4,82	30+30	1,45	3	0,63	4,71	7
А72-6	19+19	1,88	3	0,264	5,52	25+25	1,62	3	0,469	5,43	7
А71-8*	(10+10) 2	1,81	—	0,56	4,46	(13+13) 2	1,56	—	0,975	4,33	6
А71-8**	(12+12) 2	1,81	—	0,585	4,67	(16+16) 2	1,56	—	1,05	4,65	5

A72-8* A72-8**	(15+15) 2 (9+9) 3	1,45 1,81	2 —	0,366 0,33	4,86 5,91	(10+10) 2 (11+12) 3	1,81 1,62	— —	0,628 0,526	5,0 6,08	6 5
A81-2 A82-2	(8+8) 5 (7+7) 7	1,88 1,68	2 2	0,0603 0,051	14,0 14,9	(10+11) 4 (9+9) 4	1,81 1,95	2 2	0,107 0,0853	13,7 14,7	13 13
A81-4 A82-4	(8+8) 4 (12+12) 2	1,74 2,02	2 4	0,0921 0,0567	10,1 11,2	(11+11) 3 (8+8) 4	1,74 1,74	2 2	0,169 0,101	10,4 11,1	10 10
A81-6 A82-6	(12+12) 2 (9+9) 2	1,68 1,95	3 3	0,171 0,1065	9,2 10,3	(11+11) 2 (12+12) 2	1,74 1,68	2 3	0,33 0,1915	9,0 10,3	10 10
A81-8 A82-8	(11+11) 2 (8+8) 2	1,81 2,02	2 2	0,259 0,172	8,25 8,47	(7+7) 3 (11+11) 2	1,81 1,74	— 2	0,44 0,318	7,88 8,70	7 7
A91-2 A92-2	(4+5) 7 (3+4) 10	2,1 2,1	2 2	0,031 0,0181	22,6 27,2	(6+6) 7 (4+5) 8	1,95 2,1	2 2	0,0475 0,0292	25,0 27,9	17 17
A91-4 A92-4	(10+10) 3 (8+8) 4	2,02 1,95	4 4	0,0427 0,0302	18,9 20,8	(13+13) 3 (10+11) 3	1,74 1,95	4 4	0,0745 0,0528	18,35 20,4	13 13
A91-6 A92-6	17+17 (12+12) 3	2,26 1,56	6 6	0,0751 0,0418	13,0 15,0	22+22 (16+16) 3	1,95 1,35	6 6	0,13 0,0744	12,6 15,1	10 11
A91-8 A92-8	(14+14) 2 (10+10) 3	1,81 1,74	4 4	0,094 0,0551	11,95 13,6	(9+9) 3 (13+13) 2	1,81 1,88	2 4	0,161 0,092	11,5 13,7	8 8

* При $z_1=54$.
** При $z_1=48$.

ЛИТЕРАТУРА

Бернштейн Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения. — М.: Энергия, 1971.

Виноградов Н. В. Обмотчик электрических машин. — М.: Высшая школа, 1977.

Геращенко Г. В., Тембель П. В. Справочник по обмоточным данным электрических машин и аппаратов. — Киев: Техника, 1972.

Зимин В. И. и др. Обмотки электрических машин. — М.: Энергия, 1975.

Маршак Е. Л. Ремонт всыпных обмоток асинхронных двигателей. — М.: Энергия, 1975.

Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. — М.: Высшая школа, 1976.

Обмоточные данные асинхронных двигателей/Под ред. П. И. Цибулевского. — М.: Энергия, 1971.

Слоним Н. М. Алюминиевые провода при ремонте асинхронных двигателей. — М.: Энергия, 1973.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.